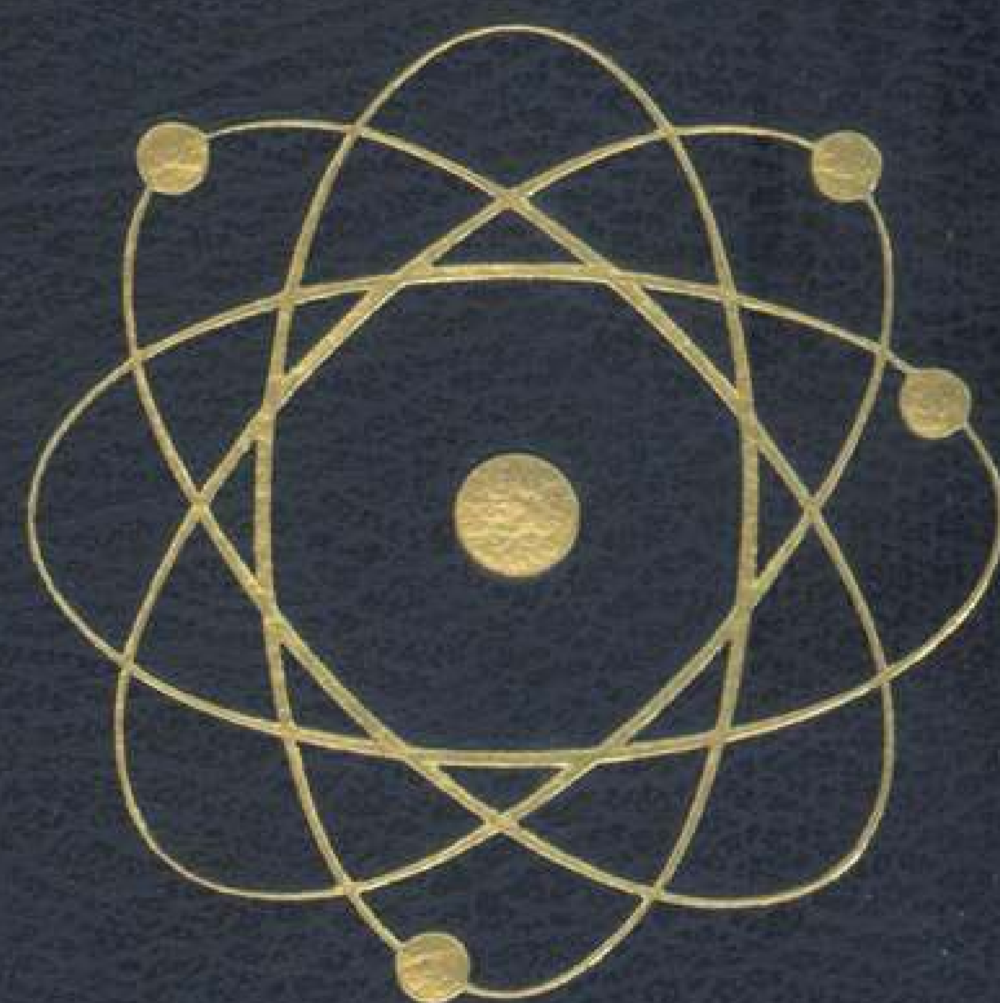

Ciencia y Técnica

12

RADIO

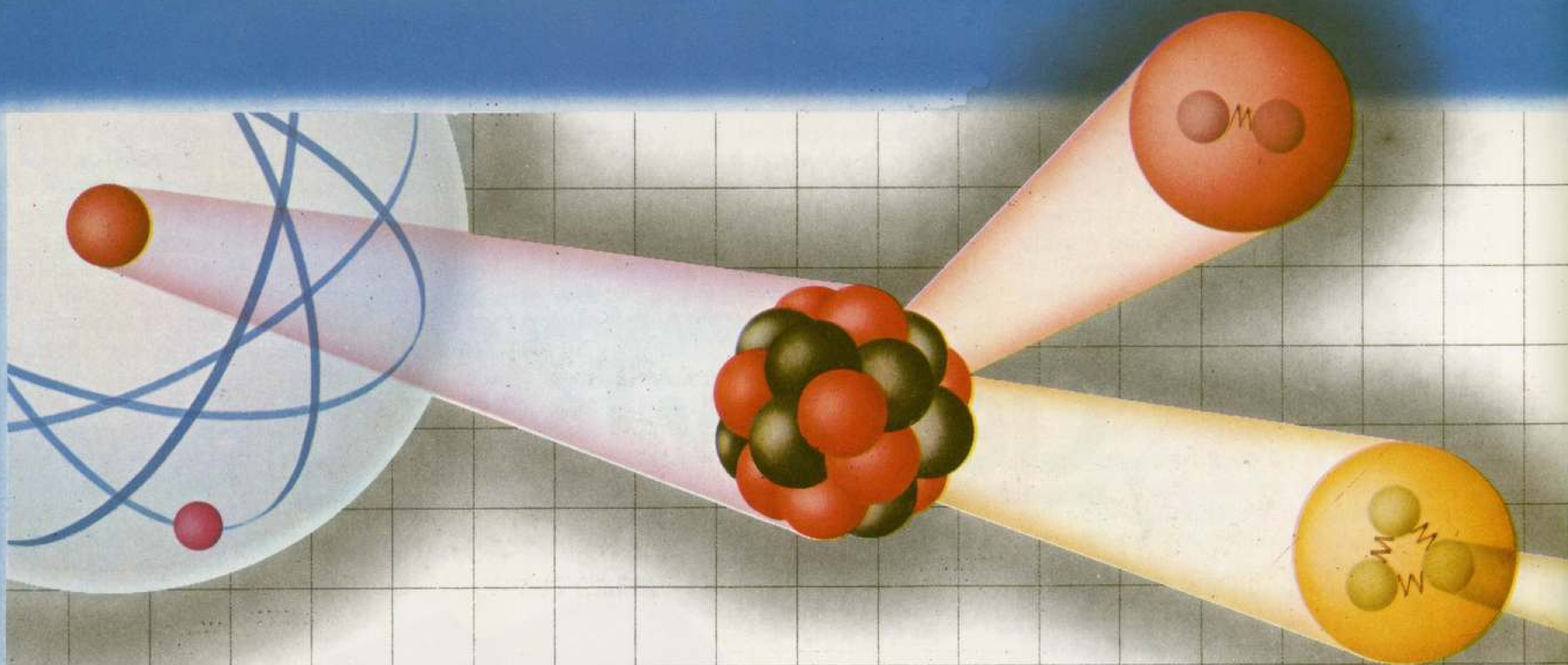
SALVAT







ENCICLOPEDIA SALVAT DE
Ciencia y Técnica





Publicado por
SALVAT EDITORES, S.A.
Mallorca, 47, 08029 Barcelona, España

Impresión:
Gráficas Estella, S.A.
Estella, Navarra, 1988
Depósito Legal: NA. 125 - 1984
ISBN 84-345-4490-3 (Obra completa)
ISBN 84-345-4502-0 (Volumen 12)
Printed in Spain

ENCICLOPEDIA SALVAT DE

Ciencia y Técnica



Director
Juan Salvat

Director de la obra:
Jesús Campos

Secretaría de redacción
Concepción Camarero

Director artístico
Francesc Espluga

Redacción
María Teresa M. Faraldo

Producción
Leonor Murillo

Prólogo
Pedro Laín Entralgo,
Presidente de la Real Academia Española de la Lengua



Redacción Edición Internacional

Christian Angermann — Donald Antrim — Timothy Bay — Trudy Bell — Shelley Berc — David Black — Diane Blanchard — Bonnie Borenstein — Judith Brister — Jean Brody — Serena Cha — Robert Crease — Peter Cunningham — Dr. Rhodes Fairbridge — Marguerite Feitlwitz — Corinna Gardner — Barbara George — Ellen Goldensohn — Jean Grasso — Fitz Patrick — Peter Gyallay-Pap — Steve Hall — James Harris — Doug Henwood — David Herndon — Paul Hoeffel — Andrea Kantor — Jonathan Katz — Jim Keegan — Philippa Keil — Percy Knauth — Bary Koffler — Barbara Kopit — Paulette Licitra — Becky London — Deborah Lumpee — Charles Mann — Robert MacVicar — Dale McAdoo — Fred Nadis — Joy Nager — Peter Oberlink — Robert Salter — Sandra Sharp — George Shea — Howard Smith — Zev Trachtenberg — Vieri Tucci — Edit Emili Villareal — Veronica Visser — Graham Yost — Sasha Zeif

Colaboradores científicos de este volumen, edición española:

Manuel Abejón, *Universidad Politécnica de Madrid*
Alberto Brito, *Universidad de La Laguna*
Javier Cacho, *Comisión Nacional de Investigación del Espacio*
Mercedes Campos, *Universidad de La Laguna*
César Casquet, *Universidad Complutense*
Víctor Casquet, *Licenciado en Astrofísica*
Eduardo Cruells, *Licenciado en Ciencias Biológicas*
Juan José Díez, *Universidad Complutense*
Sebastián Dormido, *Universidad Nacional de Educación a Distancia*
Isabel Espinel, *Licenciada en Ciencias Biológicas*
Manuel Gil, *Comisión Nacional de Investigación del Espacio*
Ildefonso Irún, *Licenciado en Ciencias Físicas*
José M. López Piñero, *Universidad de Valencia*
Pedro L. Martín, *Ingeniero de Caminos*
Juan Ramón Medina, *Universidad de Sevilla*
Ignacio Meléndez, *Universidad Complutense*
Francisco Montero de Espinosa, *Instituto «L. Torres Quevedo» del C.S.I.C.*
Germiniano Ontañón, *Licenciado en Ciencias Químicas*
Gerardo Pastor, *Instituto «L. Torres Quevedo» del C.S.I.C.*
Francisco J. Quiles, *Médico*
Germán Rodríguez Corral, *Instituto «L. Torres Quevedo» del C.S.I.C.*
M.ª Jesús Sainz de Aja, *Comisión Nacional de Investigación del Espacio*
Rafael Sanjurjo, *Universidad Politécnica de Madrid*
Magna Santos, *Instituto «Daza de Valdés» del C.S.I.C.*
Pedro T. Sanz, *Instituto «L. Torres Quevedo» del C.S.I.C.*
Enrique Villanueva, *Ingeniero Industrial*
Eduardo Zamarripa, *Piloto*

Dr. Andrew Abrahams - *Bedford Stuyvescent Hospital, N.Y.* — Nancy Akre - *Cooper-Hewitt Museum, N.Y.* — Dr. Neil Baggett - *Brookhaven National Laboratory, N.Y.* — Dr. Thomas J. Barnard - *Columbia Presbyterian Hospital, N.Y.* — William Bates - *Computer consultant, N.Y.* — Terry Belanger - *Columbia University, N.Y.* — Roberto Brambilla - *Institute for Environmental Action, N.Y.* — Oscar A. Campa - *American Institute of Aeronautics and Astronautics, N.Y.* — Dr. A.L. Carsten - *Brookhaven National Laboratoy, N.Y.* — Dr. Lars Cederqvisit - *Gynecologist, N.Y.* — Carroll Cline - *Lighting consultant, N.Y.* — Dr. Paul Comer - *Anaesthesiologist, Montana* — John Dalton - *Modelworks, Inc, N.Y.* — David Devaleria - *Columbia University, N.Y.* — Ken Distler - *Ademco, Long Island, N.Y.* — Dr. Janice Dodds - *Columbia University, N.Y.* — David Dooling - *Huntsville Times, Huntsville, Alabama* — Lt. Robert Donovan - *U.S. Navy, N.Y.* — Prof. Patricia Dudley - *Barnard College, N.Y.* — Dr. Rene Eastin - *Long Island University, N.Y.* — Prof. Rhodes Fairbridge - *Columbia University, N.Y.* — Dr. Gerald Feinberg - *Columbia Univertsity, N.Y.* — Robert Feitlowitz - *Textiles consultant, N.Y.* — Leonard Feldman - *Leonard Feldman Electronic Lab, N.Y.* — John Fitch - *Automobile consultant, N.Y.* — Dr. Richard Fitzpatrick - *Bell Laboratories, N.Y.* — Dr. Robert Fried - *Psychiatrist, N.Y.* — Sara Friedman - *Author, N.Y.* — Dr. Michael Garvey - *Animal Medical Center, N.Y.* — Prof. Allan Gilbert - *Columbia University, N.Y.* — Dr. John Gmeiner - *Nebraska Psychiatric Institute, Nebraska* — Eugene Grisanti - *International Flavors and Fragrances Inc, N.Y.* — Annabelle Harris - *International Paper, N.Y.* — Kevin Hayes -*Typesetter, N.Y.* — Norman Hollyn - *Film editor, N.Y.* — Dr. Jonathan House - *Doctor, N.Y.* — Dr. Elizabeth Kellner - *Nutritionist, N.Y.* — Prof. Ellis Kolchin - *Columbia University, N.Y.* — Prof. Martin Kramer - *City College of New York, N.Y.* — T. Kuroiwa - *Japan Smoking Articles Corporated Assoc., Tokyo* — Prof. Charles Larmore - *Columbia University, N.Y.* — Dr. Warren Levin - *World Health Medical Grova, N.Y.* — Janet Loughridge - *American Health Foundation, N.Y.* — Dr. William Love - *Brookhaven National Laboratory, N.Y.* — Dr. John Maisey - *American Museum of Natural History, N.Y.* — Alan Macher - *Information Systems Group, N.Y.* — Dr. James Macpherson - *Engineering consultant, Virginia* — Eli Martin - *Architect, N.Y.* — Derrick McDowell - *Science consultant, N.Y.* — Elvin McDonald - *Author, N.Y.* — Dr. Kenneth Meisler - *Preventive and Sports Medical Center, N.Y.* — Jim Marchese - *Photographer, N.Y.* — Dr. Judith Molnar - *Biologist, N.Y.* — Dr. Peri Namerov - *Center for Population and Family Health, N.Y.* — Lt. Joseph Nimmich - *U.S. Coast Guard, N.Y.* — Dr. Ruth Nussenzweig - *NYU Medical Center, N.Y.* — Dom Perciballi - *Emergency medical technician, N.Y.* — Felix Peruggi - *Fireworks by Grucci, N.Y* — Alice Petropoulos - *National Council on Alcoholism, N.Y.* — Prof. James Polshek -*Columbia University, N.Y.* — David Pope - *Editor consultant, Conneticut* — Walter Reed - *National Automatic Merchandising Association, Illinois* — Dr. Ronald Rieder - *Psychiatrist, N.Y.* — Robert Robertson - *Oceaneering, Inc, Texas* — James Rosenthal - *Magnet Paint and Varnish, N.Y.* — Joe Scherer - *Cinema Interface, N.Y.* — Dr. Ralph Shutt - *Brookhaven National Laboratory, N.Y.* — Prof. Philip Smith - *Columbia University, N.Y.* — Betty Sprigg - *Pentagon, Washington, D.C.* — Timothy Steinhoff - *Gardening consultant, N.Y.* — D. William Strohmeier - *Ad Astra Communications, Connecticut* — Dr. Joseph Thach - *Pentagon, Washington, D.C.* — Peter Tischbein - *U.S. Army Corps of Engineers, N.Y.* — Joe Trammell - *NAVASYNC Sound, N.Y.* — Debbie Triantaphyllou - *MITER Inc.* — K.C. Tung - *American Institute of Aeronautics and Astronautics, N.Y.* — Prof. David Tyler - *Columbia University, N.Y.* — James Walkup - *New School for Social Research, N.Y.* — Walter Washko - *University of Connecticut, Connecticut* — Aura Weinstein - *American Institute of Aeronautics and Astronautics, N.Y.* — Lilian Yung - *Columbia University, N.Y.* —

Radio (elemento)

NOMBRE	RADIO
SIMBOLO	Ra
ETIMOLOGIA DEL NOMBRE Y DEL SIMBOLO	del latín *radius*, "rayo"
N. ATOMICO	88
PESO ATOMICO	—
ESTADO NATURAL	en los minerales de uranio
DESCUBRIMIENTO O AISLAMIENTO	P. y M. Curie
PRODUCCION	subproducto de la metalurgia del uranio
P. f. (°C)	700
P. eb. (°C)	1.140
PESO ESPECIFICO O DENSIDAD	5
PROPIEDADES Y APLICACIONES	elemento fuertemente radiactivo y químicamente reactivo, utilizado en aplicaciones terapéuticas, como fuente radiactiva, etc.

El día 4 de julio de 1934, Marie Curie fallecía a los 66 años de edad, según el dictamen médico por una anemia perniciosa probablemente debida a una larga acumulación de radiaciones.

Sus manos aparecían profundamente quemadas por el radio que tanto había manipulado. También H. Becquerel, descubridor de la radiactividad, sufrió eritemas en el pecho por haber llevado junto a él un frasco de vidrio que contenía una sal de radio.

El descubrimiento del radio tuvo gran resonancia histórica para el desarrollo de la Química. A parte del mérito que supone para el matrimonio Curie su larga e intensa labor, desarrollada con muy pocos medios, el estudio de las propiedades del elemento supuso un gran paso para la comprensión de la estructura de la materia. Este hecho permitiría años más tarde el desarrollo de la energía atómica y la aplicación a gran escala de los isótopos radiactivos.

El uso del radio había comenzado a extenderse en Medicina como tónico general y terapéutica de ciertos trastornos, así como en la industria para pinturas luminiscentes, lo que dio lugar a cánceres contraídos por operarios que en su trabajo de pintar con barniz fluorescente las manillas de los relojes humedecían con la lengua la punta de los pinceles que empleaban.

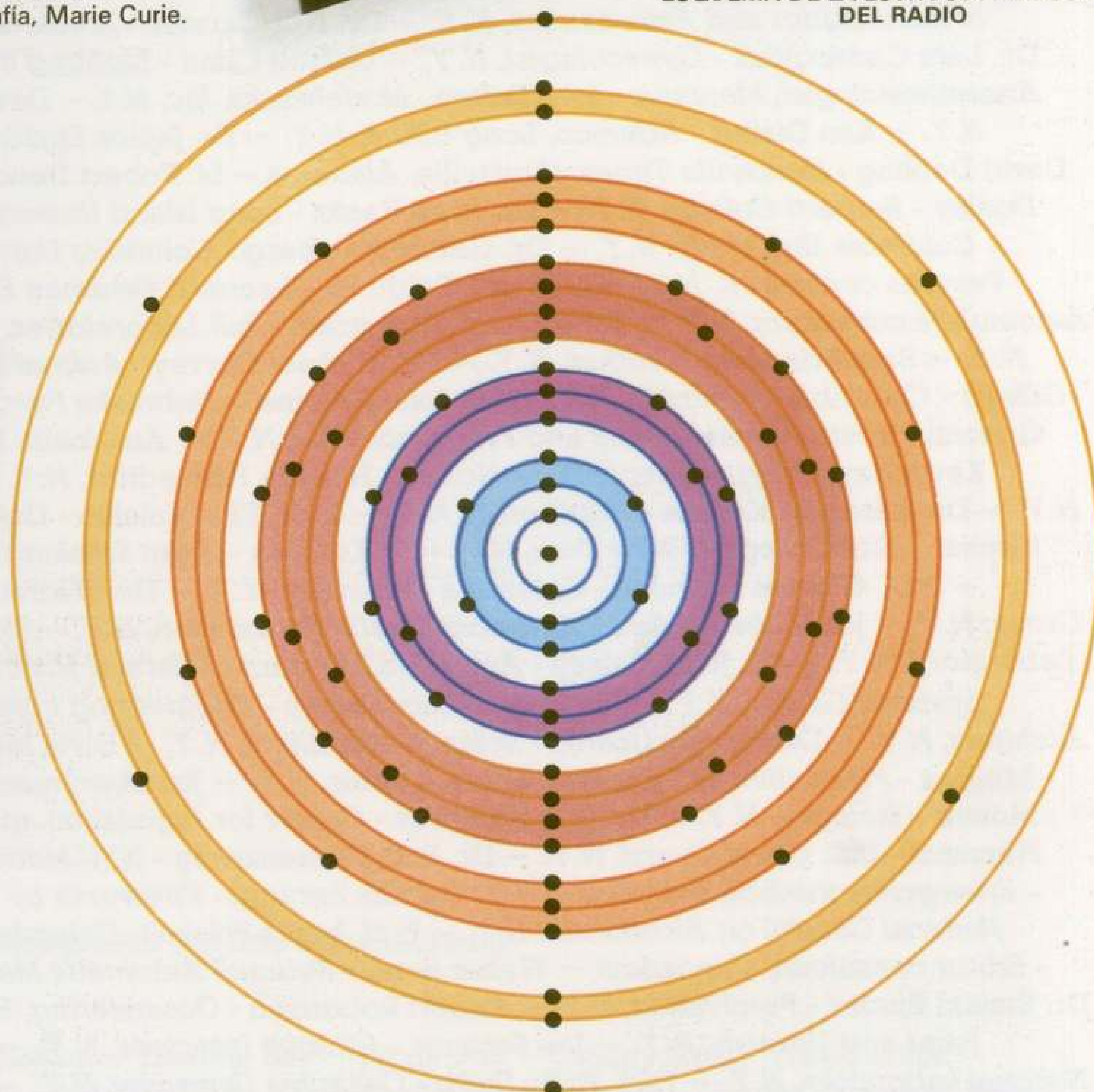
Estas primeras experiencias de los efectos de la radiactividad, conocidas a través de la utilización de un elemento con elevada radiotoxicidad, como el radio, llevarían pronto a limitar las cantidades biológicas permisibles de incorporación de dicho elemento y a adoptar medidas de protección en su manipulación, como en la de las radiaciones en general, para obtener el adecuado provecho de los descubrimientos que iban a marcar una era histórica.

Elemento químico El radio es el elemento número 88 de la Tabla Periódica (representado por el símbolo Ra) y se en-



Los esposos Curie fueron los descubridores del radio. En la fotografía, Marie Curie.

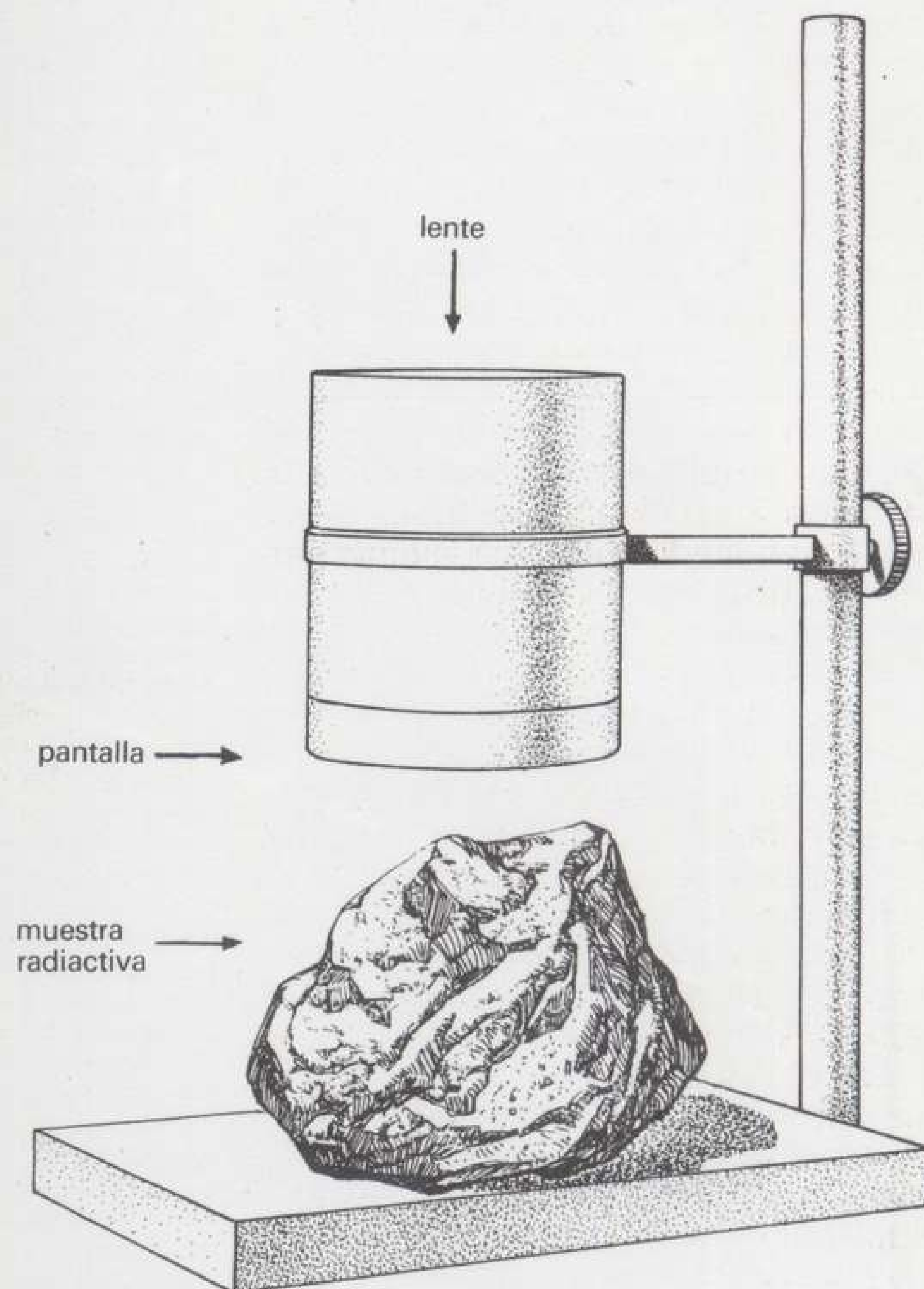
ESQUEMA DE LA ESTRUCTURA ATOMICA DEL RADIO



La detección y medida de la radiactividad ha desarrollado históricamente métodos diversos. Un método simple, esquematizado en el dibujo de la página siguiente, se basa en el centelleo que las partículas radiactivas producen en un material luminiscente, como el sulfuro de cinc, depositado sobre la pantalla. Los impactos pueden contarse desde arriba, a través de una lente. Para evidenciar el radio, los esposos Curie utilizaron un electroscopio, preparado por sus colaboradores, en el que la mayor o menor separación de las láminas resulta ser proporcional a la ionización producida por la emisión radiactiva de la muestra. Estos principios de detección, así como otros posteriores, basados en propiedades de cristales sólidos y semiconductores, se desarrollarían y perfeccionarían luego al tiempo que el gran desarrollo de la electrónica aportaría grandes y precisas prestaciones al análisis y cuantificación de la radiactividad.



ISOTOPO	TIPOS DE EMISION RADIACTIVA	PERIODO (tiempo de semidesintegración)
Radio-223	alfa, gamma	11,7 días
Radio-224	alfa, gamma	3,64 días
Radio-226	alfa, gamma	1.620 años
Radio-228	beta	6,7 días



En el cuadro de la derecha, arriba, figuran los isótopos del radio existentes en la Naturaleza, todos ellos radiactivos, con sus tipos de emisión radiactiva. Los períodos indicados se refieren a cada isótopo independiente. En la práctica, sin embargo, subsisten todos ellos de forma permanente por formar parte de las cadenas naturales de desintegración radiactiva, encabezadas por el uranio, torio y actinio, los cuales, al tener un ritmo de desintegración muy lento, imponen un equilibrio de formación de todos sus descendientes. Entre los descendientes del radio se producen isótopos de gases (radón) que se difunden al ambiente. Las emanaciones de los gases de radón constituyen el principal riesgo radiológico a considerar en las minas de minerales de uranio-radio, lo que impone la adopción de medidas adecuadas de ventilación y protección respiratoria. Arriba, fotografía de cristales de sklodowskita, mineral radiactivo.

cuentra en la Naturaleza asociado a los minerales de uranio, obteniéndose como subproducto en la fabricación del mismo.

Fue realizando experimentos con uno de estos minerales, la pechblenda, cuando María y Pierre Curie encontraron, en 1898, un nivel de radiactividad mayor del que correspondería a un contenido solamente de uranio. Sospechando la existencia de un elemento radiactivo nuevo, tuvieron que hacer acopio de grandes cantidades de material (traídas de los desechos de las minas de pechblenda de Bohemia) para poder llegar a aislar, en 1902, un decigramo de dicho elemento, el radio, que presentaba como características singulares, su alto nivel de radiactividad y su fosforencia, evidenciada en la oscuridad.

El radio pertenece, junto con el berilio, magnesio, calcio, estroncio y bario, al grupo de elementos de la Tabla Periódica denominados alcalinotérreos. De propiedades metálicas, presenta una luminiscencia provocada por las partículas alfa de sus emisiones radiactivas, y forma sales blancas —algunas de ellas insolubles en agua— en las que siempre aparece con número de oxidación +2, que colorean la llama de rojo.

El radio es el elemento de mayor peso atómico del grupo (su isótopo más característico es el de número másico 226) y el que posee propiedades más básicas. Descompone el agua, se altera en el aire, puede formar algunas aleaciones metálicas y, asociado con berilio, constituye una fuente de neutrones, que se liberan en la reacción nuclear que ocurre entre ambos elementos.

Aplicaciones El radio ha sido utilizado en el campo médico administrado en inyecciones y como tónico general, pero su aplicación médica más extendida ha sido la radioterapia, en la que se utiliza como fuente de radiación para combatir, con dosis suficientemente altas, el crecimiento de tejidos malignos.

En la industria, el radio se ha empleado como fuente radiactiva para control de materiales y espesores, para la preparación de pinturas luminiscentes y, en el campo nuclear, para la fabricación de fuentes de neutrones.

La cuantificación de las cantidades de radio incorporadas al organismo que se correlacionan con lesiones posteriores permitió establecer un primer valor límite de incorporación biológica de 0,1 microgramos; y el propio radio sirvió para definir la primera unidad de medida de la radiactividad, que se denominó Curie (curio), como la correspondiente a la actividad de una muestra de un gramo de radio en equilibrio con sus emanaciones de radón. Ello corresponde a 37.000 millones de desintegraciones por segundo y, en el caso citado de 1 gramo de radio, supuesto perfectamente aislado, la energía de las partículas alfa emitidas, absorbida en el propio material, le produciría un aumento de su temperatura de 1 grado cada 10 segundos.

En la actualidad, la aplicación del radio, tanto en Medicina como en la industria, ha ido relegándose y sustituyéndose por otras fuentes radiactivas en que se utilizan radioisótopos menos problemáticos.

Véase **Elementos; Metales alcalinotérreos; Radiactividad; Radioisótopos; Radiología; Sistema periódico de elementos**

Radioastronomía

La Radioastronomía nació en 1930, cuando Karl Guthe Jansky, un joven ingeniero de los Bell Telephone Laboratories, especializado en la recién nacida ciencia de la radio, fue asignado a un proyecto cuya finalidad consistía en estudiar un cierto tipo de descargas que interferían las radiocomunicaciones internacionales y las transmisiones tierra-mar. Después de algún tiempo de trabajo, Jansky construyó un extraño aparato formado por un sistema de numerosas antenas interconectadas entre sí, montadas sobre una base móvil que podía rotar en torno a un perno central, y todo ello instalado en el chasis de cuatro ruedas de un automóvil Ford modelo T. Además de las ya habituales descargas atmosféricas, producidas por la energía electrostática de la atmósfera y por otras perturbaciones más lejanas, Jansky captó también una especie de zumbido continuo que no logró identificar.

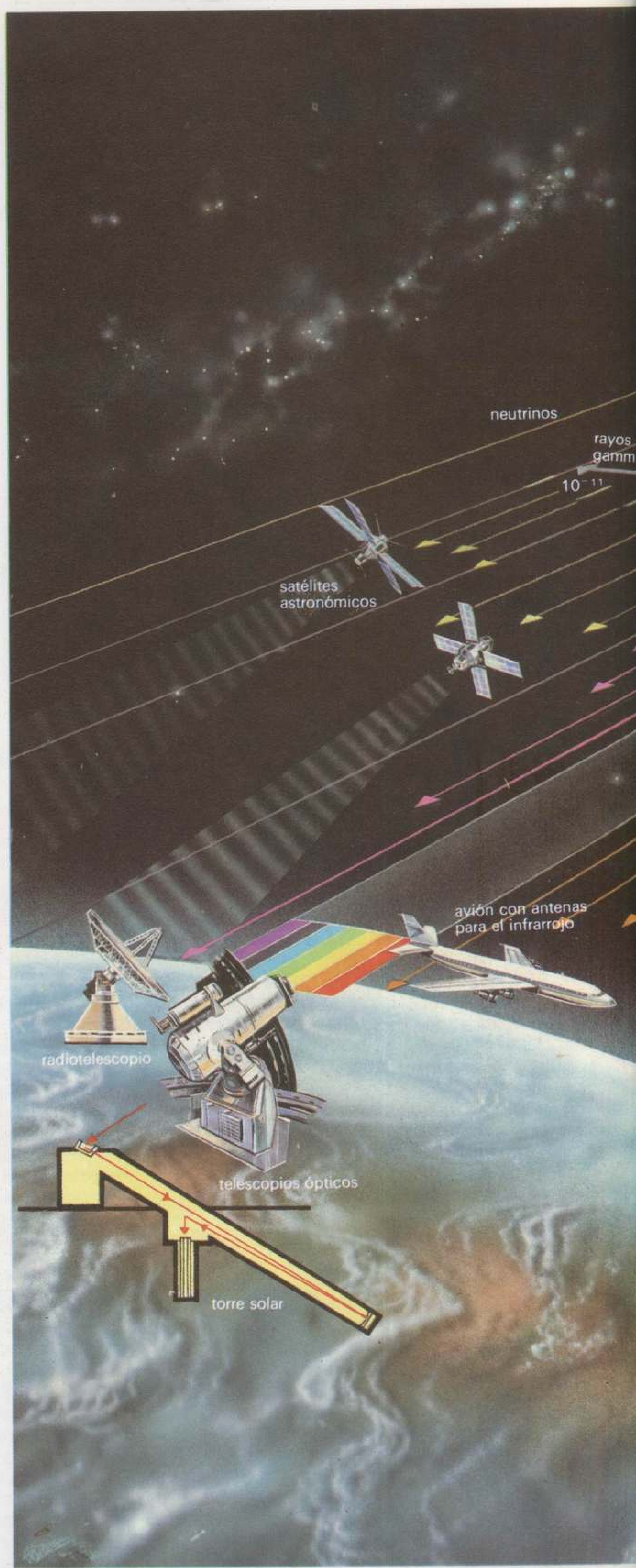
En un principio, Jansky pensó que este ruido misterioso podía tener su origen en el Sol, ya que era precisamente en la dirección de nuestro astro donde parecía adquirir su mayor intensidad. Posteriormente notó que la dirección de la señal más intensa cambiaba diaria y regularmente hasta que, al cabo de un año, había cumplido una rotación completa y la fuente emisora volvía a situarse en la dirección inicial, próxima a la del Sol. Se concentró intensamente en la tarea de buscar la procedencia de este misterioso ruido hasta que, en 1933, llegó a la convicción de que eran ondas de radio procedentes de la Vía Láctea, concretamente de un punto próximo al centro de la Galaxia, en la constelación de Sagitario. De esta manera se produjo el nacimiento de una nueva ciencia, la Radioastronomía. El descubrimiento de Jansky fue anunciado a la opinión pública el 5 de mayo de 1933, mediante un artículo publicado en el New York Times y titulado *New Radio Waves Traced to Center of Milky Way* (Nuevas Ondas de Radio Procedentes del Centro de la Vía Láctea); incluso, un emprendedor productor de radio llegó a transmitir a sus readioyentes una muestra de "perturbación galáctica", previamente grabada en los Bell Laboratories.

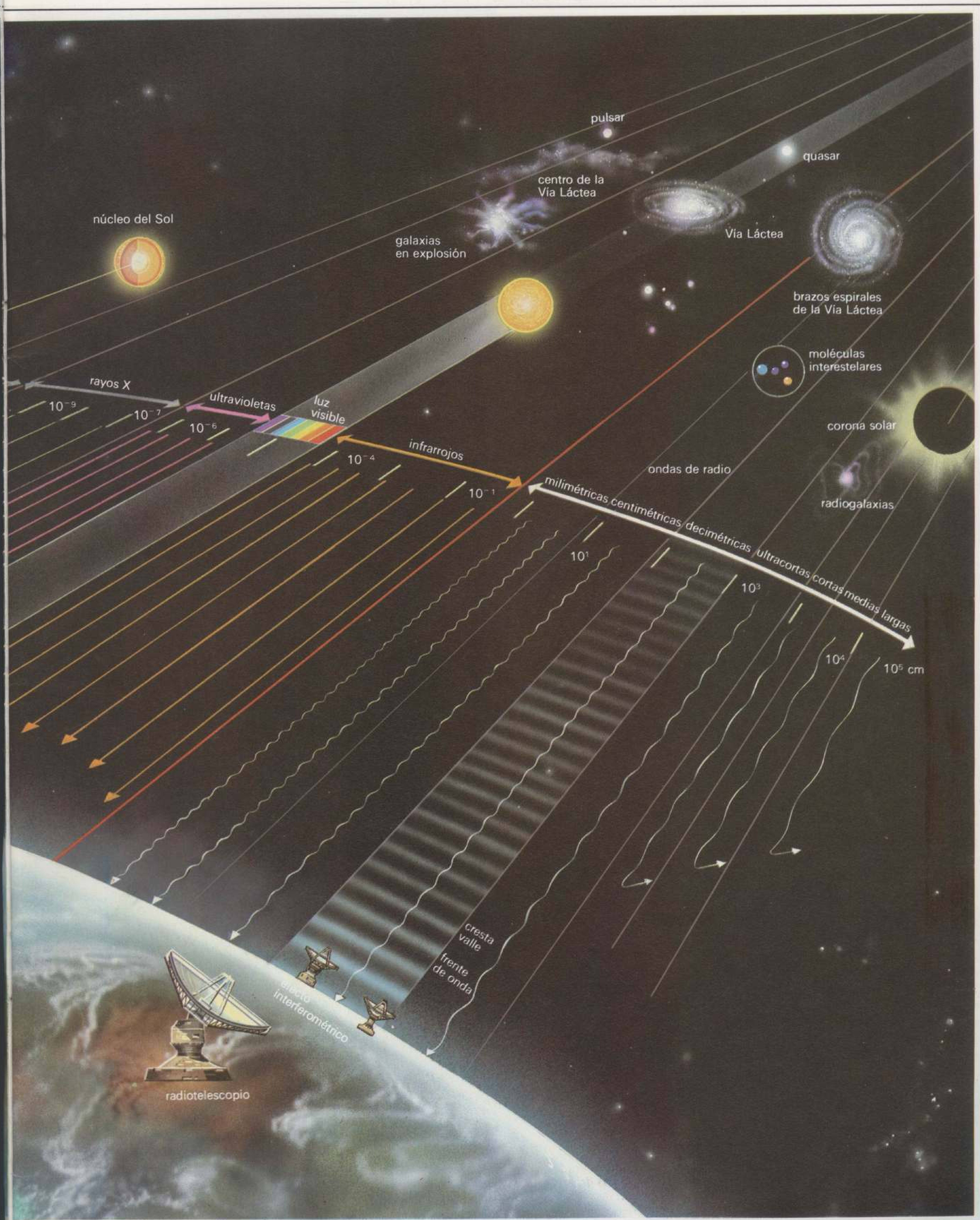
Resulta increíble pensar que el nacimiento de una ciencia como la Radioastronomía, esencial para aquellos científicos que desean comprender y penetrar en los profundos misterios del Universo, no haya reportado ninguna gloria ni beneficio a la comunidad científica que la ayudó a nacer. El mismo Jansky fue asignado a otros proyectos y no pudo realizar posteriores investigaciones en este campo.

El telescopio de Grote Reber Afortunadamente, un joven radio-aficionado llamado Grote Reber empleó todos sus ahorros (300 dólares) en construir el primer radiotelescopio que, formado por una antena parabólica (en forma de disco), instaló en el propio patio de su casa.

La superficie del reflector, proyectada con el fin de captar y focalizar en un solo

Esta ilustración puede ayudar a comprender la importancia de la Radioastronomía como medio de investigación de los cuerpos celestes. Cada tipo de radiación facilita la comprensión de una clase determinada de fenómenos. Por lo tanto, toda nueva radiación que proporcione un nuevo tipo de información ampliará la posibilidad de encontrar nuevos objetos celestes. Los datos obtenidos a partir de un solo tipo de radiación no son, por lo general, suficientes para completar una visión global de un fenómeno, por lo que disponer de diferentes bandas de distinta longitud de onda resulta de gran ayuda a la hora de interpretar cualquier fenómeno. Los rayos gamma pueden proporcionar amplia información sobre la evolución de astros relativistas, como agujeros negros y pulsares, así como sobre fenómenos cuyo origen está en los espacios interestelares, por ejemplo, los rayos cósmicos. Los rayos X, en cambio, pueden tener su origen en una amplia gama de fenómenos ligados a la evolución de las galaxias, a la caída de materia en agujeros negros o a la excitación de gases muy calientes. Todavía más extenso es el índice de fenómenos responsables de la emisión de radiación ultravioleta y de luz visible, ya que ésta afecta a casi todos los procesos en que se excita la parte más externa de los átomos. La radiación infrarroja está ligada, por el contrario, a procesos de baja energía, y, como máximo, de emisión calorífica. Las ondas de radio pueden ser indicativas de fenómenos como las oscilaciones del plasma, o el movimiento de partículas cargadas y altamente energéticas. Pueden, también, servir de índice termométrico en casos de temperaturas muy bajas, y, en particular, la radiación monocromática de 21 cm del hidrógeno neutro puede ser utilizada para calcular las velocidades con que las nubes de hidrógeno se acercan o se alejan de la Tierra.





pulsar
quasar
centro de la
Vía Láctea
núcleo del Sol
Vía Láctea
galaxias
en explosión
brazos espirales
de la Vía Láctea
moléculas
interestelares
rayos X
ultravioletas
luz
visible
corona solar
infrarrojos
ondas de radio
milimétricas centimétricas decimétricas ultracortas cortas medias largas
radiogalaxias
10^{-9}
10^{-7}
10^{-6}
10^{-4}
10^{-1}
10^{1}
10^{3}
10^{4}
10^{5} cm
cresta
valle
frente
de onda
efecto
interferométrico
radiotelescopio

punto las ondas de radio procedentes del espacio exterior, tenía un diámetro de casi 10 metros y estaba constituida por 45 placas de hierro aluminizado; estas placas descansaban a su vez sobre una estructura formada por 72 vigas de madera, cortadas y ensambladas de tal manera que conferían al aparato una forma de disco parabólico. Durante el otoño y el invierno de 1938-39, Reber experimentó constantemente con su nuevo telescopio hasta que, finalmente, llegó a captar una señal de radio sobre una longitud de onda de 1,87 metros.

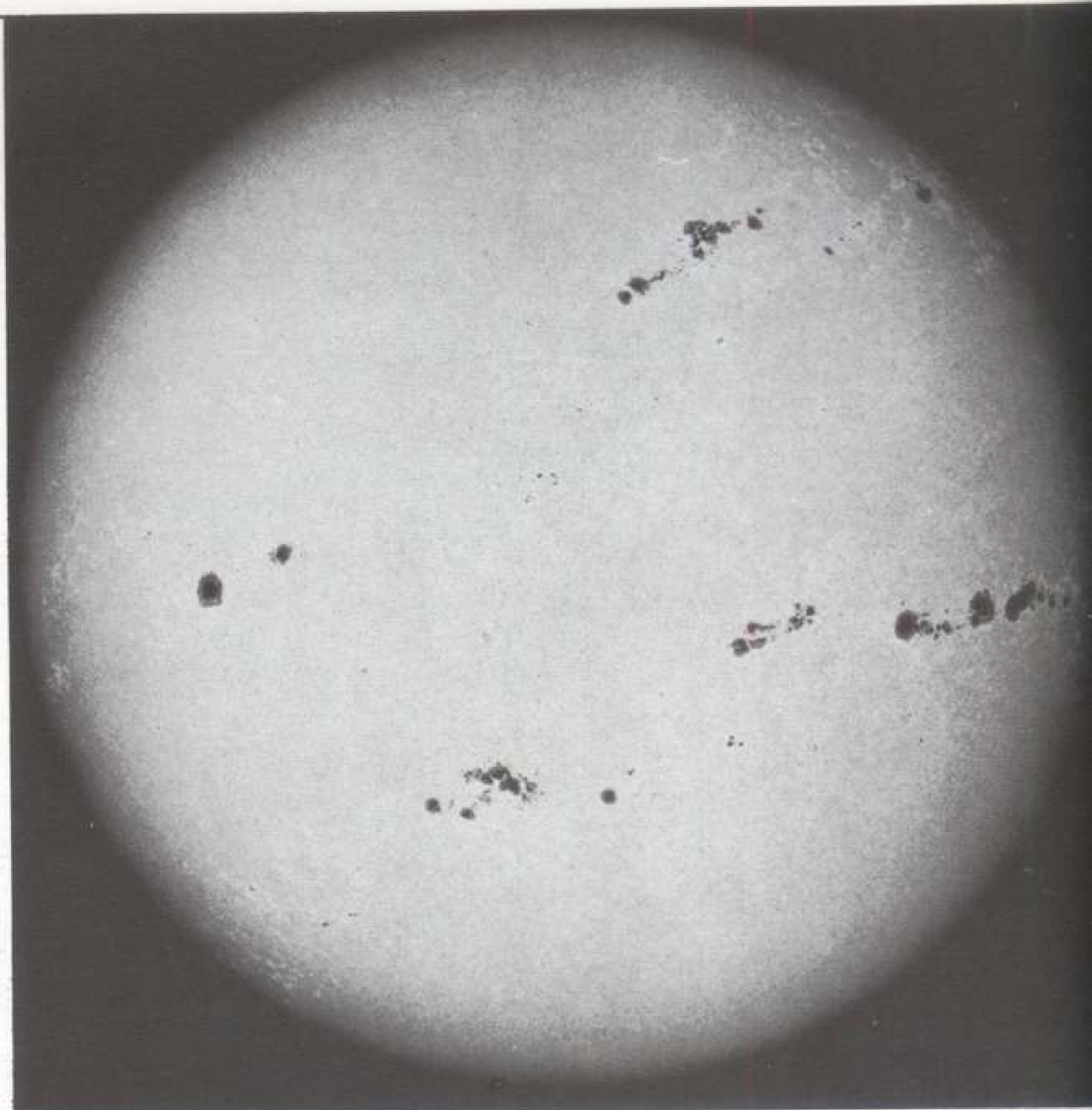
A efectos de entender la función exacta que desarrollan los radioastrónomos, hemos de recordar que los astrónomos que estudian el Universo mediante telescopios ópticos convencionales utilizan, a este fin, sólo una pequeña banda del espectro electromagnético, la que corresponde a aquellas longitudes de onda que son visibles para el ojo humano.

Otros tipos de ondas electromagnéticas, únicamente perceptibles a través de instrumentos especializados, comprenden los rayos cósmicos, los rayos gamma, los rayos X, la radiación ultravioleta (cuya longitud de onda es demasiado corta como para poder ser percibida por el ojo humano), la radiación infrarroja (ésta, por el contrario, demasiado larga) y, finalmente, las ondas cuyas longitudes son las más largas del espectro, las ondas de radio.

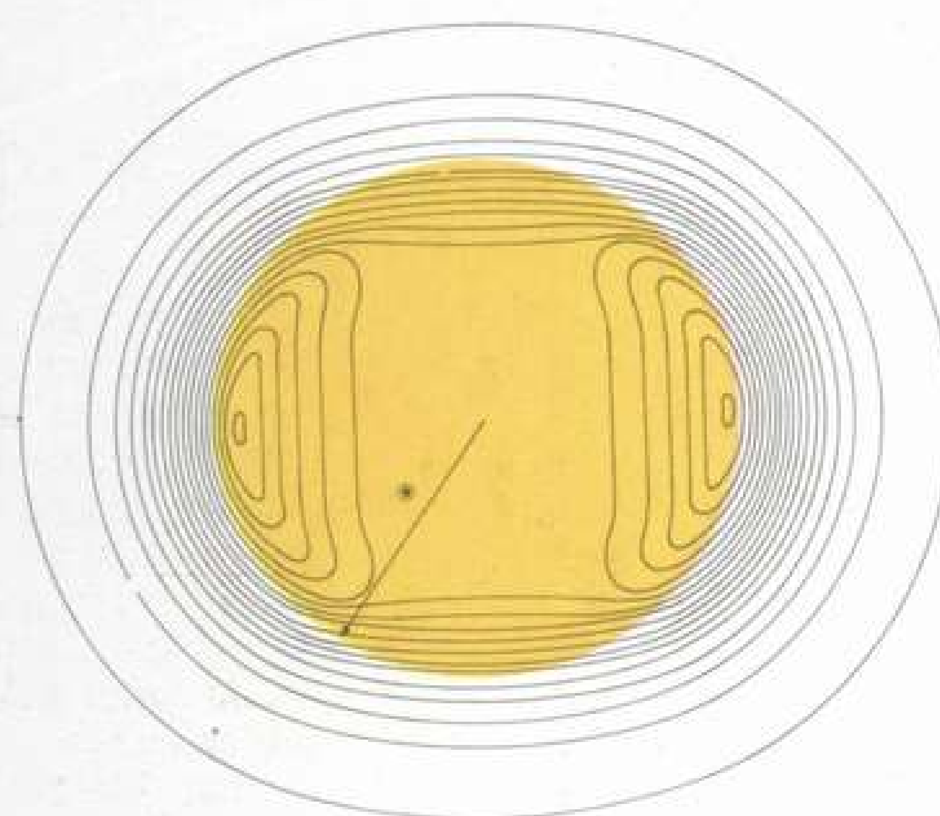
La longitud de onda de todas estas formas de radiación electromagnética, es decir, la distancia existente entre dos crestas sucesivas de la misma onda, se mide según distintas unidades de longitud, aunque todas dentro del mismo sistema, es decir, unas son múltiplos de otras y viceversa: desde el Ångström (1 Å = 10^{-10} metros) —para los rayos gamma, los rayos X, la radiación ultravioleta y la luz visible— y la micra (1 $\mu = 10^{-6}$ metros) —para la radiación infrarroja— hasta los familiares milímetro, centímetro, metro y kilómetro —para las microondas, las ondas cortas, las ondas medias y las ondas largas de radio, las cuales pueden llegar a alcanzar longitudes de hasta 1.000 kilómetros.

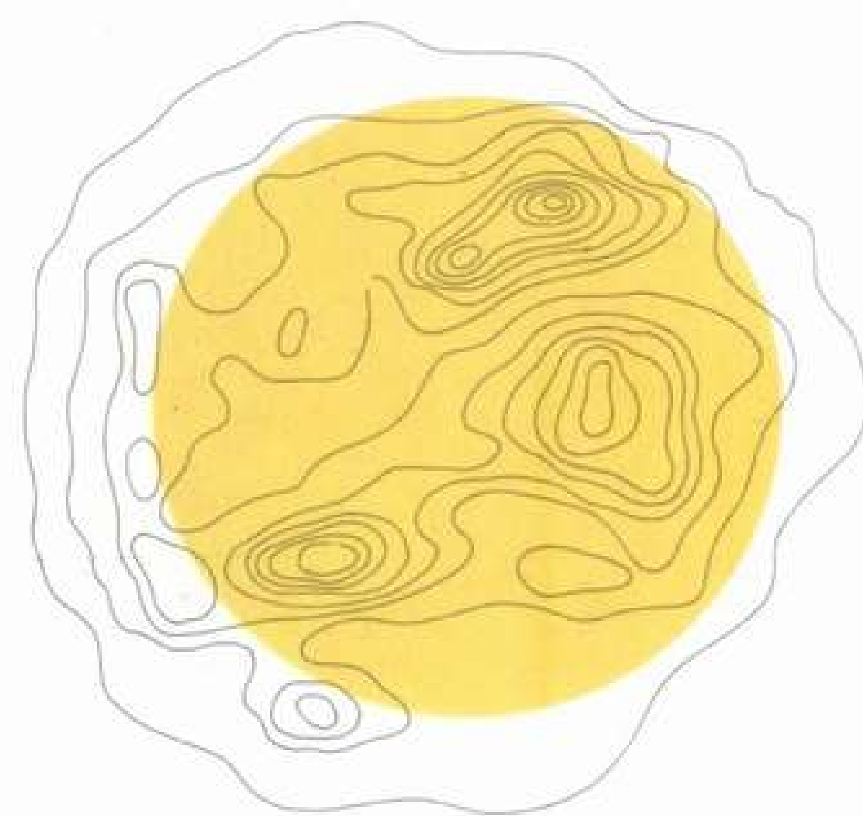
Radiación sincrotrónica Durante la II Guerra Mundial se realizaron grandes y significativos progresos en el estudio teórico y práctico de la radio. Por este motivo, cuando al finalizar la guerra los astrónomos se decidieron a explorar este nuevo campo de la investigación, ya abierto por los experimentos de Jansky y Reber, encontraron a su disposición toda una serie de nuevos y perfeccionados instrumentos. Todo ello ha hecho que, en el transcurso de las últimas tres o cuatro décadas, la Radioastronomía haya cambiado radicalmente nuestro conocimiento del Universo.

Los programas de radio y televisión que se sintonizan llegan a dichos aparatos mediante una manipulación humana de los fenómenos ondulatorios. En la estación emisora, unos aparatos especiales que funcionan sobre longitudes de onda,



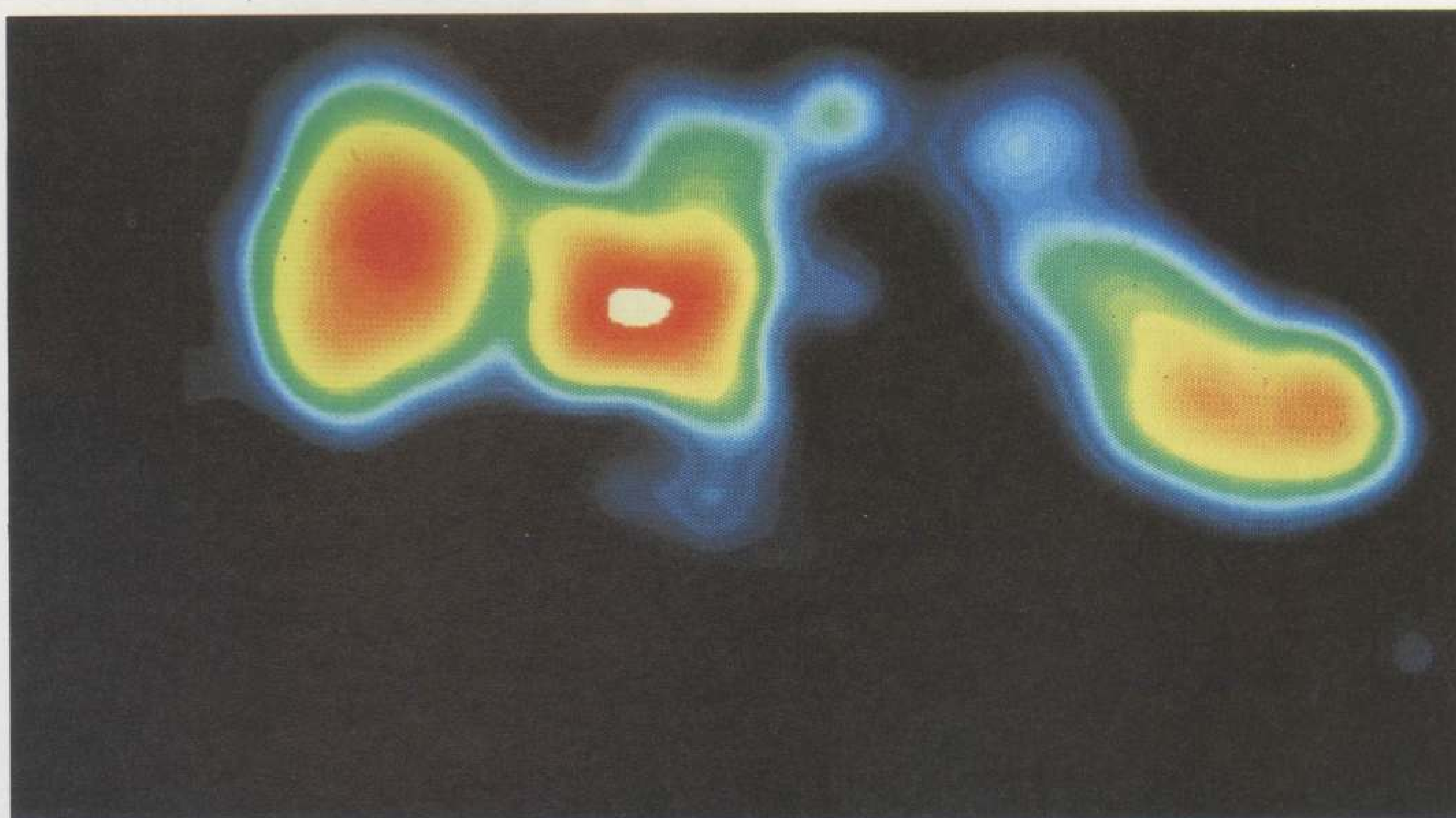
A la derecha, una imagen del Sol en la banda del visible. En el momento de la toma, su superficie presentaba una serie de perturbaciones que aparecen como manchas oscuras (manchas solares). Abajo, a la izquierda, un diagrama radiométrico del Sol. La flecha indica su radio óptico. Se puede apreciar cómo la emisión de radio procede de niveles más elevados que aquellos en los que tiene lugar la emisión de luz. A la derecha, un diagrama de la emisión de radioondas en un momento en el que la superficie solar está perturbada. Los centros de perturbación están claramente situados a lo largo de un área más amplia que la del disco fotosférico, ya que se producen en cotas más elevadas.

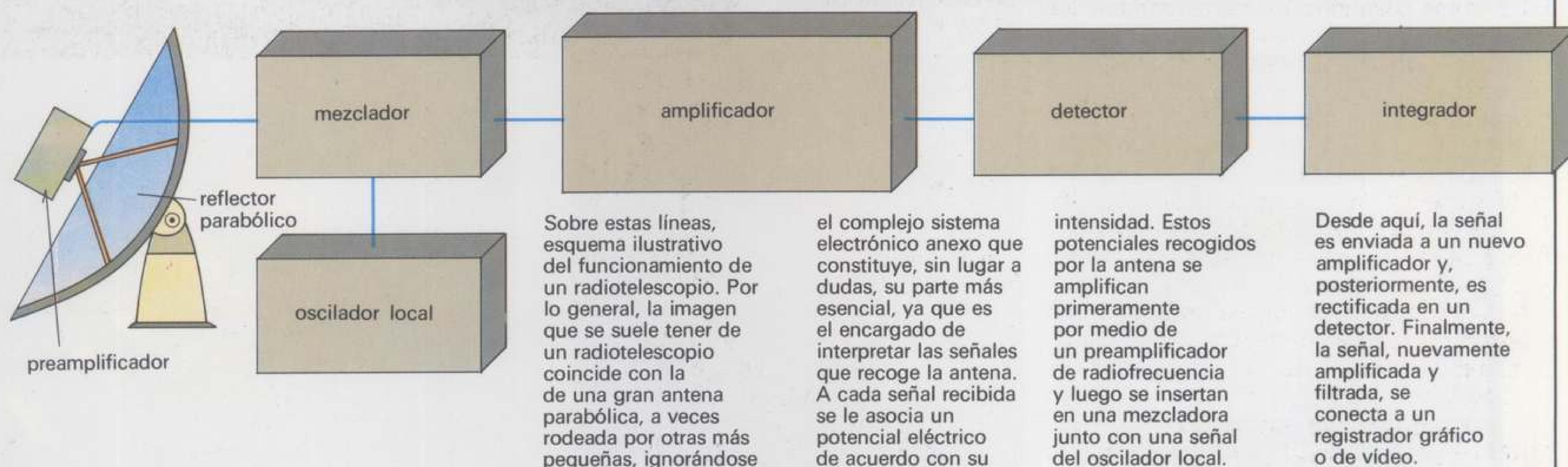






Los fenómenos evidenciados por la emisión de ondas de radio son, por lo general, resultado de complejos mecanismos, la mayoría de los cuales son aún desconocidos. En la página anterior, abajo, una radiogalaxia. A su alrededor se puede apreciar la región en la que se produce la radioemisión, muy extendida con respecto a los límites ópticos de la galaxia. A la derecha, un mapa con falsa coloración de la radioemisión de una galaxia. Es una imagen de altísima resolución, construida mediante las tomas simultáneas de telescopios muy distanciados entre sí (más de diez mil km) y sincronizados mediante cronómetros atómicos; representa el núcleo de una Galaxia.





Sobre estas líneas, esquema ilustrativo del funcionamiento de un radiotelescopio. Por lo general, la imagen que se suele tener de un radiotelescopio coincide con la de una gran antena parabólica, a veces rodeada por otras más pequeñas, ignorándose el complejo sistema electrónico anexo que constituye, sin lugar a dudas, su parte más esencial, ya que es el encargado de interpretar las señales que recoge la antena. A cada señal recibida se le asocia un potencial eléctrico de acuerdo con su intensidad. Estos potenciales recogidos por la antena se amplifican primeramente por medio de un preamplificador de radiofrecuencia y luego se insertan en una mezcladora junto con una señal del oscilador local. Desde aquí, la señal es enviada a un nuevo amplificador y, posteriormente, es rectificada en un detector. Finalmente, la señal, nuevamente amplificada y filtrada, se conecta a un registrador gráfico o de vídeo.

oportunamente escogidas, convierten el sonido y las imágenes en impulsos electrónicos, que, al llegar a los aparatos receptores, son reconvertidos en efectos audio y vídeo, perceptibles por los sentidos del oído y de la vista. Las ondas de radio captadas por los radiotelescopios pertenecen a un tipo muy especial de radiación, llamada *radiación sincrotrónica*, que es originada (como sucede en las estrellas y en las galaxias) por el movimiento de electrones libres en el interior de un campo magnético.

Generalmente, todos los cuerpos celestes presentan campos magnéticos, algunos muy débiles y otros extraordinariamente intensos, capaces de generar ondas de radio que viajan a través del espacio con velocidades próximas a las de la luz (casi 300.000 km por segundo). Las ondas de radio emitidas tienen longitudes de onda que oscilan desde 0,5 cm hasta 30 metros como máximo. Los radioastrónomos pueden optar entre dos tipos de actividad: recibir y examinar las ondas procedentes del espacio o, de acuerdo con otras necesidades, utilizar los radiotelescopios para generar y enviar ondas de radio, con el fin de que éstas reboten en los cuerpos celestes cercanos, como la Luna y los planetas del Sistema solar, y regresen, proporcionando así un determinado tipo de información sobre estos cuerpos (sus distancias, por ejemplo). Ya que podemos medir el tiempo empleado por una señal ondulatoria en llegar a un objeto, reflejarse y regresar, bastará multiplicar este tiempo (en segundos) por la velocidad de la luz, para obtener el doble de la distancia a la que se encuentra el objeto.

Una de las primeras tareas que los radioastrónomos asumieron fue la de comprobar la actividad meteorítica durante las horas de luz solar. Los meteoritos constituyen un familiar y conocido fenómeno visible durante las horas nocturnas cuando, al atravesar la atmósfera, se desintegran, dejando tras de sí una espectacular estela de fuego. Durante mucho tiempo, los científicos supusieron que también durante el día era lógico que se desarrollase una actividad meteorítica análoga, aunque nunca pudieron detectarla. Sólo cuando, a tal fin, se dispuso del gran radiotelescopio de Jodrell Bank (Inglaterra), pudo ser confirmada esta suposición.

El instrumento de Jodrell Bank, utilizado como un transmisor de radar, demostró la existencia de estos meteoritos diurnos y permitió, además, calcular sus trayectorias y velocidades. Estos últimos datos confirmaron la teoría de que los meteoritos son habitantes del Sistema solar, ya que sus velocidades son muy inferiores a la velocidad de fuga o velocidad que un cuerpo necesitaría para poder abandonar el campo gravitacional del Sol.

En la época en que el radiotelescopio de Jodrell Bank era considerado el más grande del mundo, las personalidades más eminentes en este campo de la Radioastronomía eran los científicos ingleses sir Bernard Lovell, J. S. Hey y el premio Nobel sir Edward V. Appleton.

Actualmente, existen otras importantes instalaciones de radioastronomía, en la propia Gran Bretaña, en Australia, Canadá. EE UU, Holanda, URSS, Francia e Italia, y su número aumenta progresivamente.

Radiofuentes La primera identificación de una galaxia radiofuente fue realizada en 1954 por Hey y un grupo de colaboradores, utilizando, a este efecto, un receptor de radar adecuadamente modificado. Aunque el término radiofuente puede referirse a diferentes tipos de cuerpos

celestes, lo que Hey detectó no era aparentemente una estrella singular, sino una zona bien delimitada del firmamento que emitía una radiación muy intensa. Puede ser que las radiofuentes sean el resultado de colisiones entre galaxias, residuos de supernovas, o incluso nubes de gases. La fuente radioemisora identificada por Hey en 1954 fue denominada Cisne A, es decir, la primera emisora de radioondas identificada en la constelación del Cisne. Desde entonces, se han ido localizando y catalogando miles de galaxias radiofuentes en las que se están liberando de forma anómala cantidades fabulosas de energía.

Otra de las más potentes fuentes emisoras de radioondas del Universo es la Nebulosa del Cangrejo, o *Crab Nebula*, formada por los restos de la explosión de una supernova, que, según se ha podido comprobar, fue observada por los chinos el 4 de julio de 1054. La extraordinaria intensidad de esta emisión de radio hace suponer que otras radiofuentes de particular intensidad sean también resultado de la explosión de supernovas. Por ejemplo, la radiofuente Casiopea A, situada en nuestra Galaxia, es ciertamente resultado de una explosión de este tipo, aunque no existe testimonio alguno de nadie que presenciase la explosión, que debió tener lugar hacia el año 1700 aproximadamente.

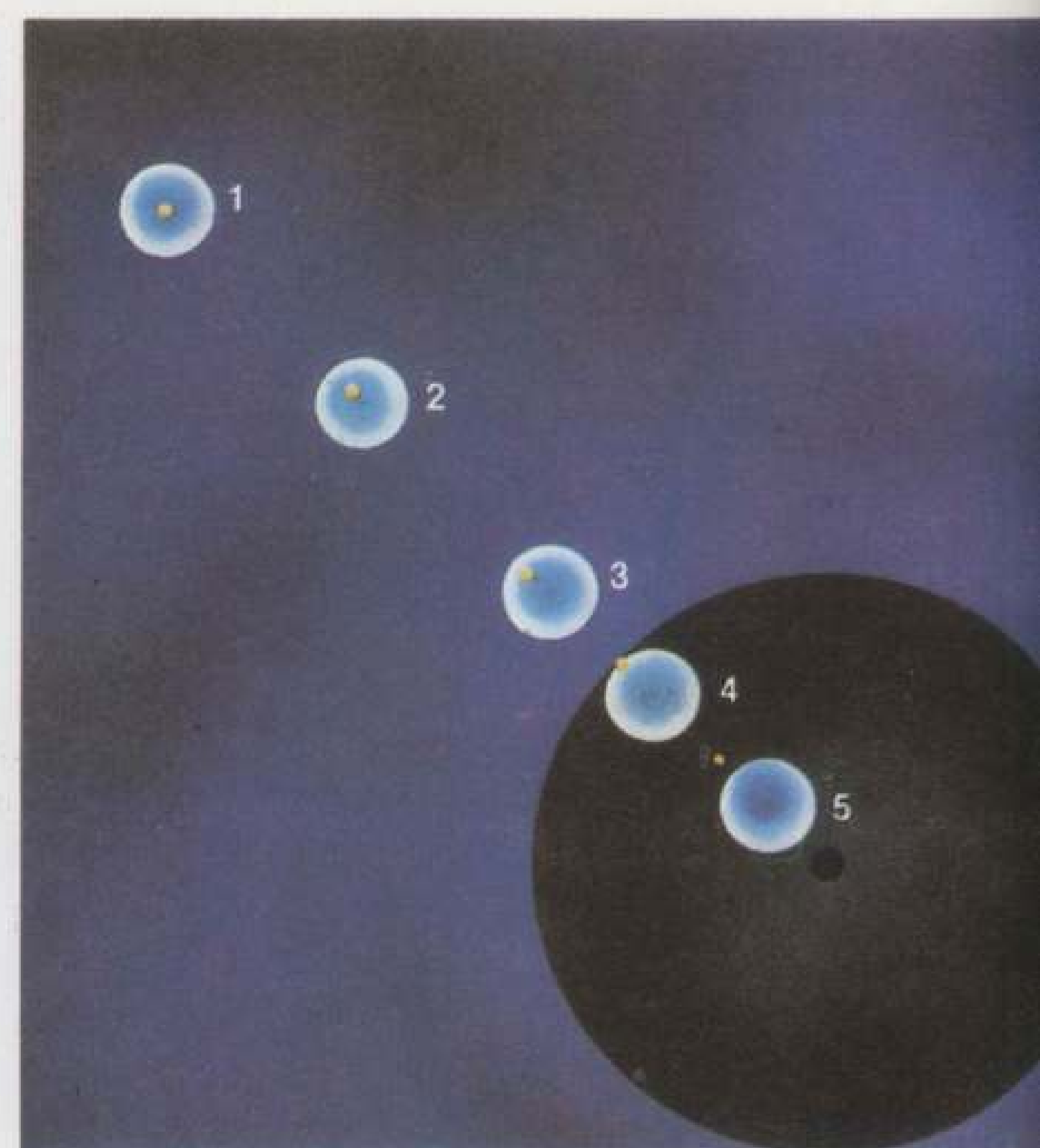
La música del hidrógeno Gracias a una especial intuición o sexto sentido del que disponen los astrónomos, al que muchos profanos de esta ciencia calificarían como brujería, un estudioso holandés, llamado H. C. van der Hulst, dedujo, en 1945, que la enorme cantidad de hidrógeno neutro (es decir, no ionizado) que se encuentra repartida por todo el Universo tendría que ser responsable de una emisión continua de ondas de radio de una longitud de 21 centímetros.

Seis años más tarde, varios equipos de investigadores en la Universidad de Harvard (EE UU), en Holanda y en Australia, pudieron confirmar, casi simultáneamente, que la prevista radiación de 21 cm existía realmente.

A partir de aquel momento (1951), utilizando lo que se ha acordado llamar "música del hidrógeno", los astrónomos han podido definir y dibujar los brazos espirales de la Galaxia, labor absolutamente imposible de realizar en épocas anteriores, ya que el polvo y el gas interestelar, que no representan obstáculo para las ondas de radio, condenaban al oscurecimiento toda observación óptica que se realizase a esas distancias.

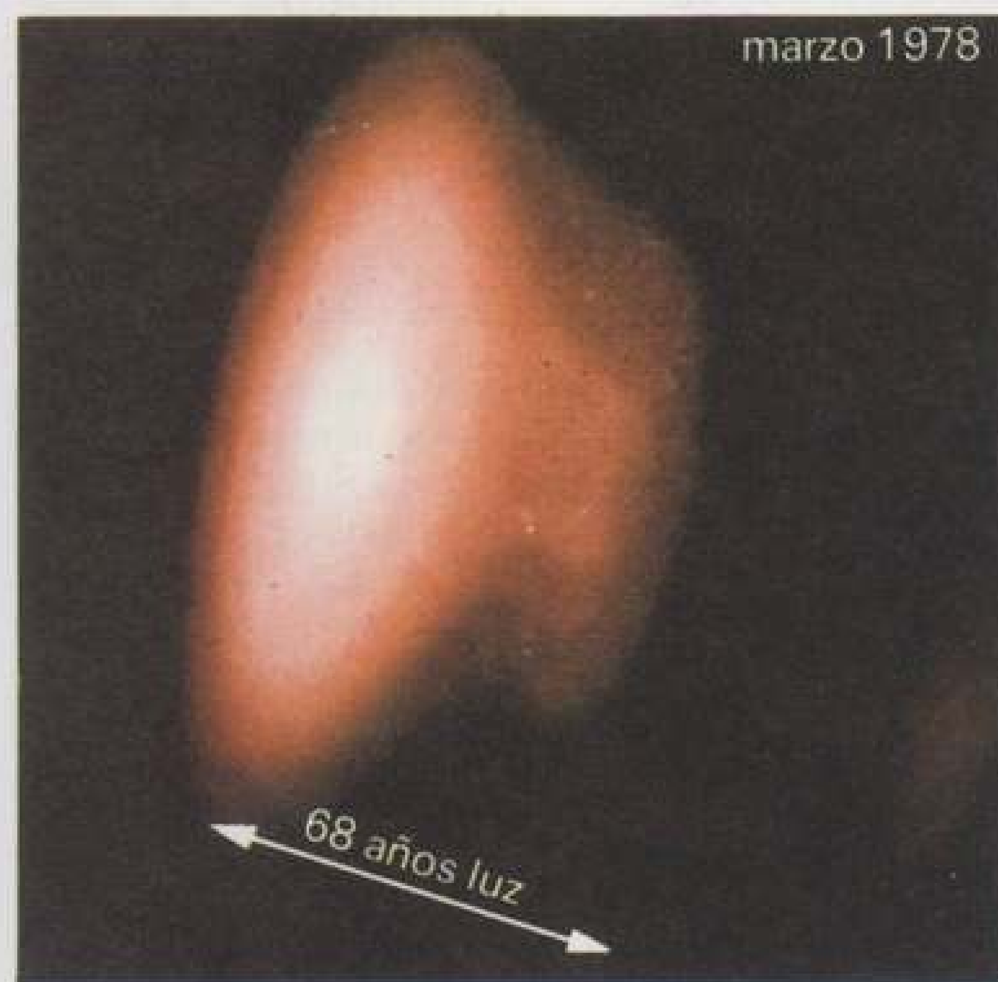
Midiendo la velocidad de las nubes de hidrógeno neutro, que describen un movimiento orbital en torno al centro de nuestra Galaxia —exactamente igual que lo hace nuestro Sistema solar—, fue posible calcular el tiempo que emplea el Sol en cumplir una rotación completa en torno al eje galáctico: casi 200 millones de años.

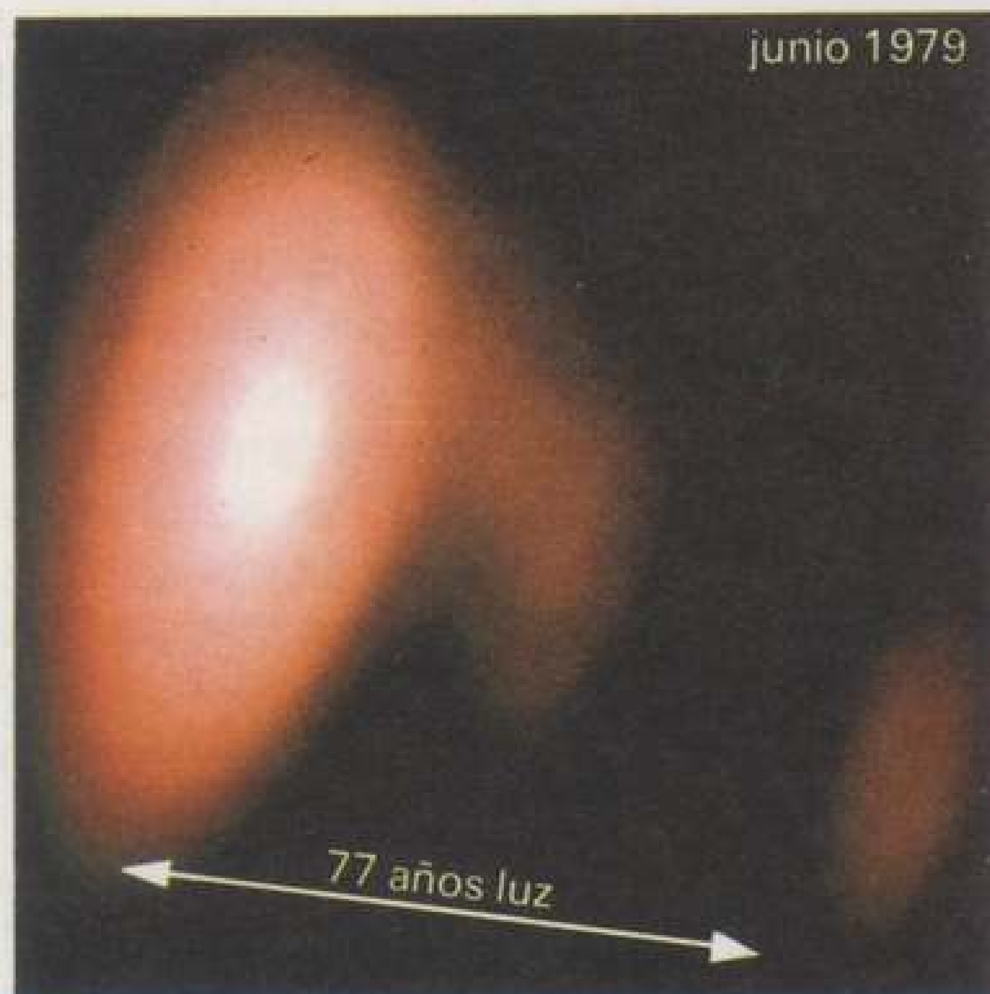
Eco del Big Bang Otra gran contribución de la Radioastronomía a la ardua comprensión del Universo fue la identificación de un singular tipo de radiación, conocida como radiación 3K, que parece proceder de todas las partes del Universo y que, según la opinión de numerosos científicos, podría constituir un residuo de la ingente

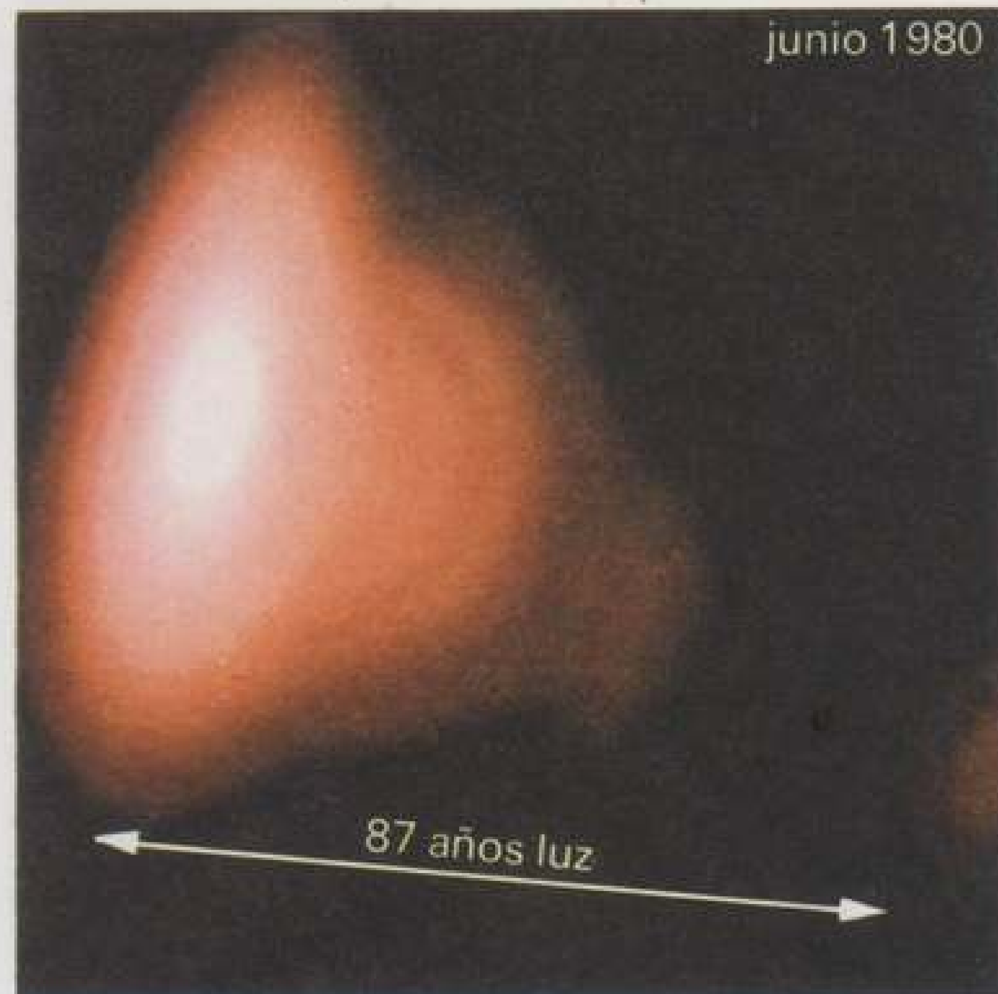












Los agujeros negros pueden dar lugar a fenómenos de gran interés en el campo de las radioondas. Sin embargo, éstas se emiten junto con otras radiaciones y se hallan sujetas a posibles deformaciones durante su propagación.

En esta página, arriba, comportamiento de una onda luminosa emitida por una fuente en las proximidades de un agujero negro. El impulso luminoso se propaga en forma de una onda esférica, cuyo centro es la fuente emisora. Este es el comportamiento normal de una onda que se propaga en el espacio lejos de la frontera de influencia gravitacional de un agujero negro. Si, por el contrario, la onda se fuese acercando a una de estas fronteras, podríamos apreciar cómo la onda se iría deformando progresivamente hasta llegar a hacerse totalmente excéntrica en el momento de alcanzar dicho límite. En la fotografía inferior se observa la caída de materia gaseosa hacia el interior de un →



→ o bien concentrarse para operar conjuntamente alrededor del centro de la Y. Un ordenador se encarga de recibir las diferentes señales, sintetizarlas y elaborar una señal resultante final. Abajo, un radiomapa del cielo descrito en coordenadas galácticas. Su realización ha requerido, dada la gran complejidad que reviste este trabajo, la colaboración de los más grandes radiotelescopios del mundo: Effelsberg (República Federal Alemana), Jodrell Bank (Gran Bretaña) y Parkes (Australia).

cantidad de radiación que se originó en el Big Bang, que muchos astrónomos apuntan como el origen del Universo.

Los radioastrónomos han realizado estudios detallados de la radiación de ondas de radio procedentes del Sol y de algunos planetas y satélites. De esta manera se han desvelado muchas incógnitas sobre las manchas solares y la corona solar (capa caliente y gaseosa que envuelve al Sol), y se han podido precisar con exactitud las temperaturas de los planetas.

En las últimas décadas, la radioastronomía ha revelado la existencia de cuerpos celestes cuya existencia ni siquiera se sospechaba: estrellas de neutrones, pulsares y quasares.

Véase **Agujero negro; Astronomía; Cosmología; Estrella supernova; Galaxia; Pulsar; Quasar; Universo, expansión del; Universo, origen del**

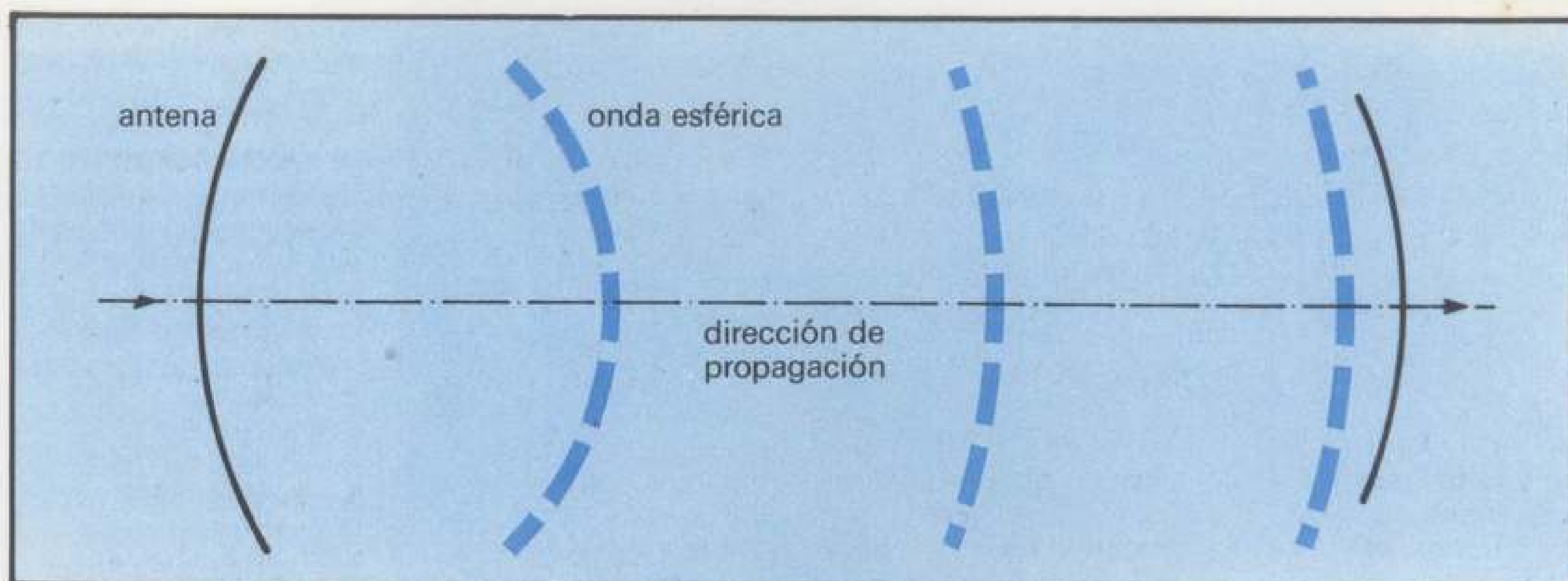
→ agujero negro: dicha materia se contrae y se calienta, emitiendo gran cantidad de radiación en todas las longitudes del espectro electromagnético, y, entre ellas, radioondas. También en la página anterior, abajo y a la izquierda, desprendimiento o expulsión de materia desde el núcleo de una galaxia en movimiento, registrado gracias a los radiotelescopios y reflejado en estas cuatro secuencias. Aunque la velocidad de la materia parezca superior a la de la luz, es un fenómeno aparente, y en realidad, su velocidad de escape es menor. Sobre estas líneas, el radiotelescopio de antenas múltiples de Socorro (Nuevo México). Las antenas se hallan montadas sobre carriles, de forma que pueden desplazarse. Están distribuidas en forma de Y dentro de un círculo de unos 30 km. Al poder rodar sobre los carriles, pueden situarse a una distancia máxima →

Radiocomunicaciones

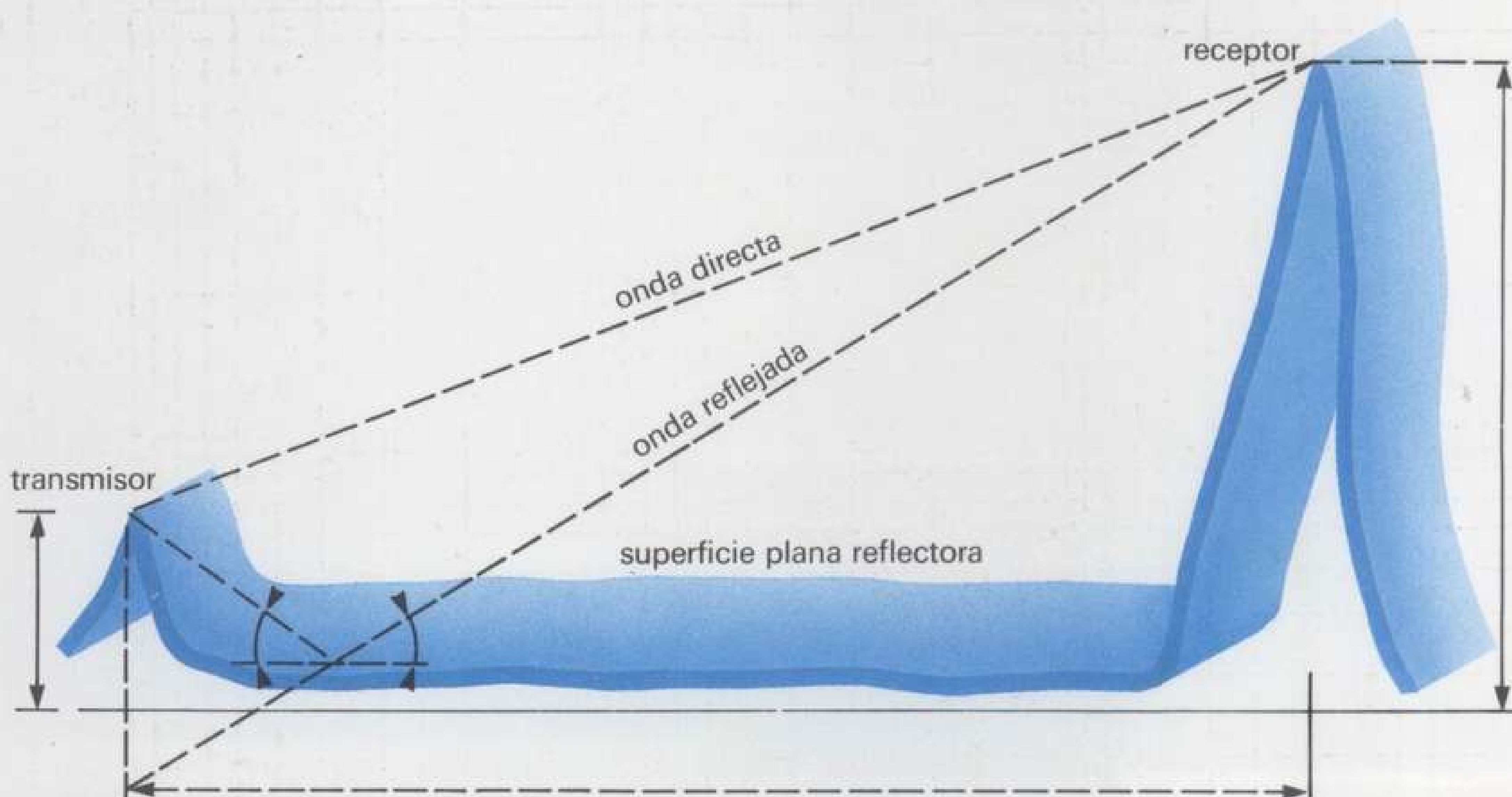
Platón determinaba el tamaño ideal de una ciudad por el alcance de la voz de un orador situado en un punto fijo. En ese sentido, el reciente desarrollo de la red telefónica, cuyo aspecto más sorprendente es que ha tenido lugar en el plazo de los últimos sesenta años, ha hecho que casi todas las zonas de la Tierra formen parte de una "gran ciudad".

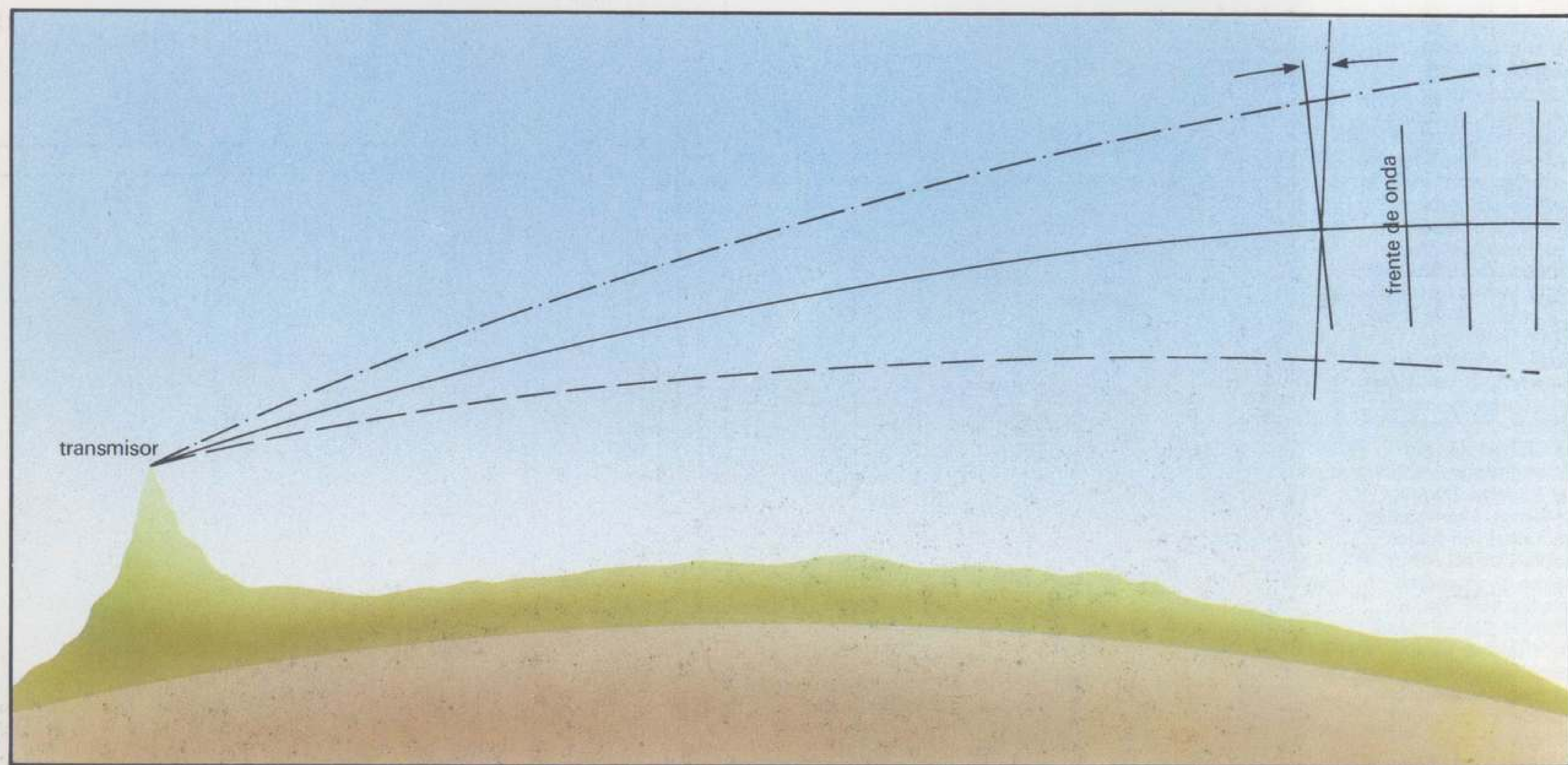
Ondas de radio Tanto las emisiones radiofónicas como las de televisión se propagan a través del espacio en forma de ondas electromagnéticas de baja frecuencia. Las ondas de radio se generan electrónicamente a partir de las fluctuaciones rápidas de una corriente eléctrica según una determinada frecuencia. Estas ondas se caracterizan por su *longitud* (longitud de onda es la distancia existente entre dos máximos, o crestas, sucesivos) y por su *frecuencia* (número de ciclos generados por segundo). Mientras que a una onda larga le corresponde una frecuencia baja, a una onda corta le corresponde una frecuencia alta. Las frecuencias de las ondas de radio se miden en unidades llamadas *hertz* (Hz), en honor a Heinrich Hertz, el físico alemán que generó por primera vez ondas de radio en 1888. Los mútiplos del hertz más usados son el kilohertz (KHz, igual a 10^3 hertz), el megahertz (MHz, igual a 10^6 hertz), y el gigahertz (GHz, igual a 10^9 hertz).

Todas las ondas de radio están comprendidas dentro de una gama de frecuencias que va de 3 kilohertz a 30 gigahertz y su longitud de onda mínima es de poco más de un milímetro. Dentro de esta gama de frecuencias y de longitudes de onda, las ondas de radio se dividen posteriormente en grupos o bandas. Las ondas de frecuencia muy baja (VLF, *very low frequency*) son difícilmente captadas por las antenas convencionales y por ello no son adecuadas para las transmisiones por



En condiciones de "espacio libre", es decir, en el vacío, sin ningún tipo de de obstáculo ni focos de perturbación, las ondas electromagnéticas, en general, y las ondas de radio, en particular, se propagan desde la antena emisora como ondas esféricas con centro en la antena y radio creciente (imagen superior). La intensidad del frente de ondas emitidas por una fuente emisora (es decir, la cantidad de energía que pasa por unidad de tiempo y unidad de área a través de una superficie perpendicular a la dirección de propagación en dicho punto) varía de forma inversamente proporcional al cuadrado de la distancia a que se encuentra de esta última. A una distancia doble, la intensidad es cuatro veces inferior. Sin embargo, las formas de propagación de una onda en el vacío son teóricas y no responden a la realidad: en la práctica, la presencia del terreno, con sus diversas estructuras e irregularidades en el relieve, da lugar a fenómenos de reflexión y difracción. En el caso de la reflexión, una antena receptora puede captar la onda directa, procedente de la emisora, pero también, y simultáneamente, la antena puede recibir ondas secundarias, resultado de la posible reflexión que las ondas emitidas en otras →





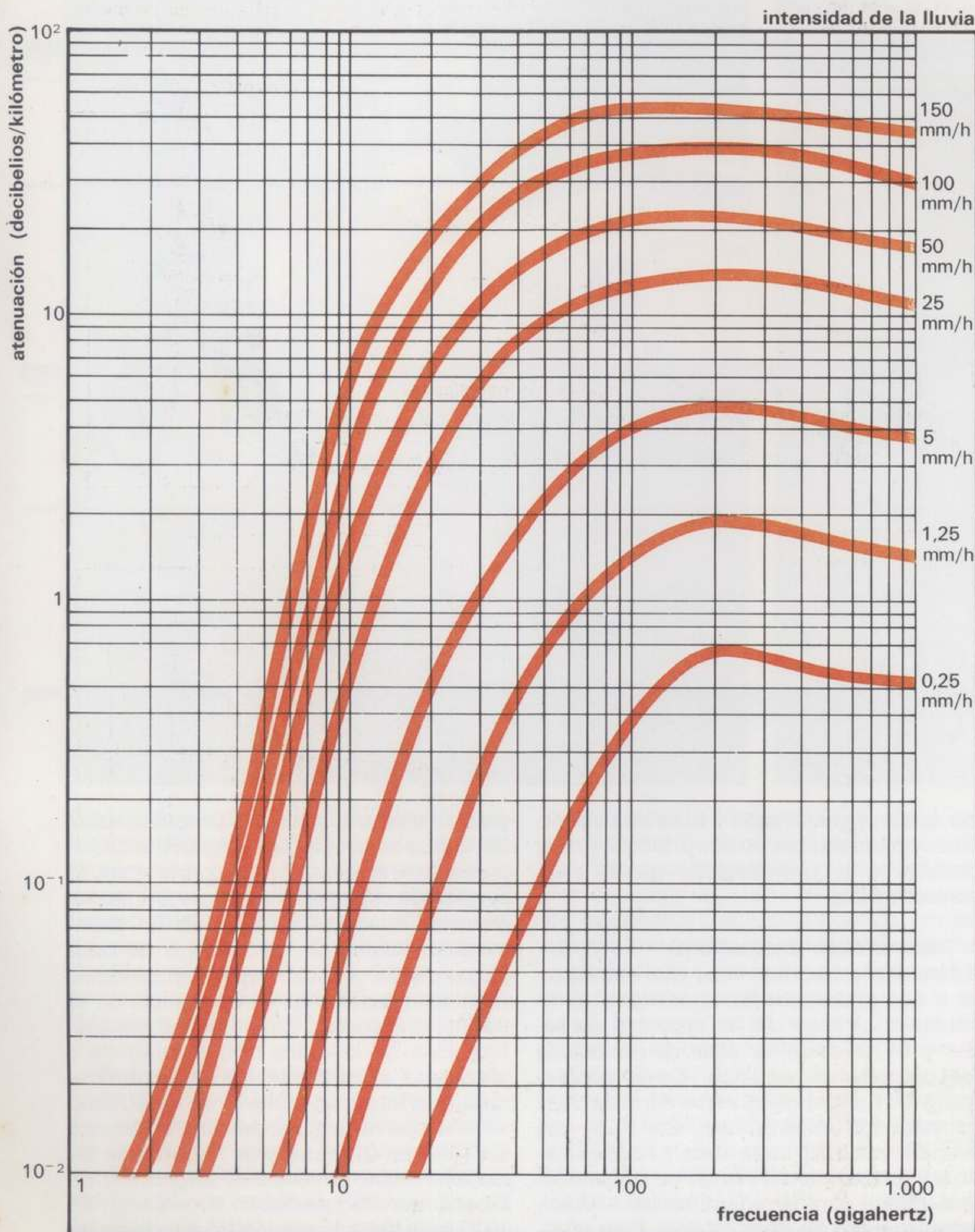
radio. Las ondas de alta frecuencia (HF, *high frequency*) se usan en las transmisiones por radio de onda corta. Las ondas de frecuencia muy alta (VHF, *very high frequency*) se utilizan en las transmisiones en modulación de amplitud (AM) y en modulación de frecuencia (FM).

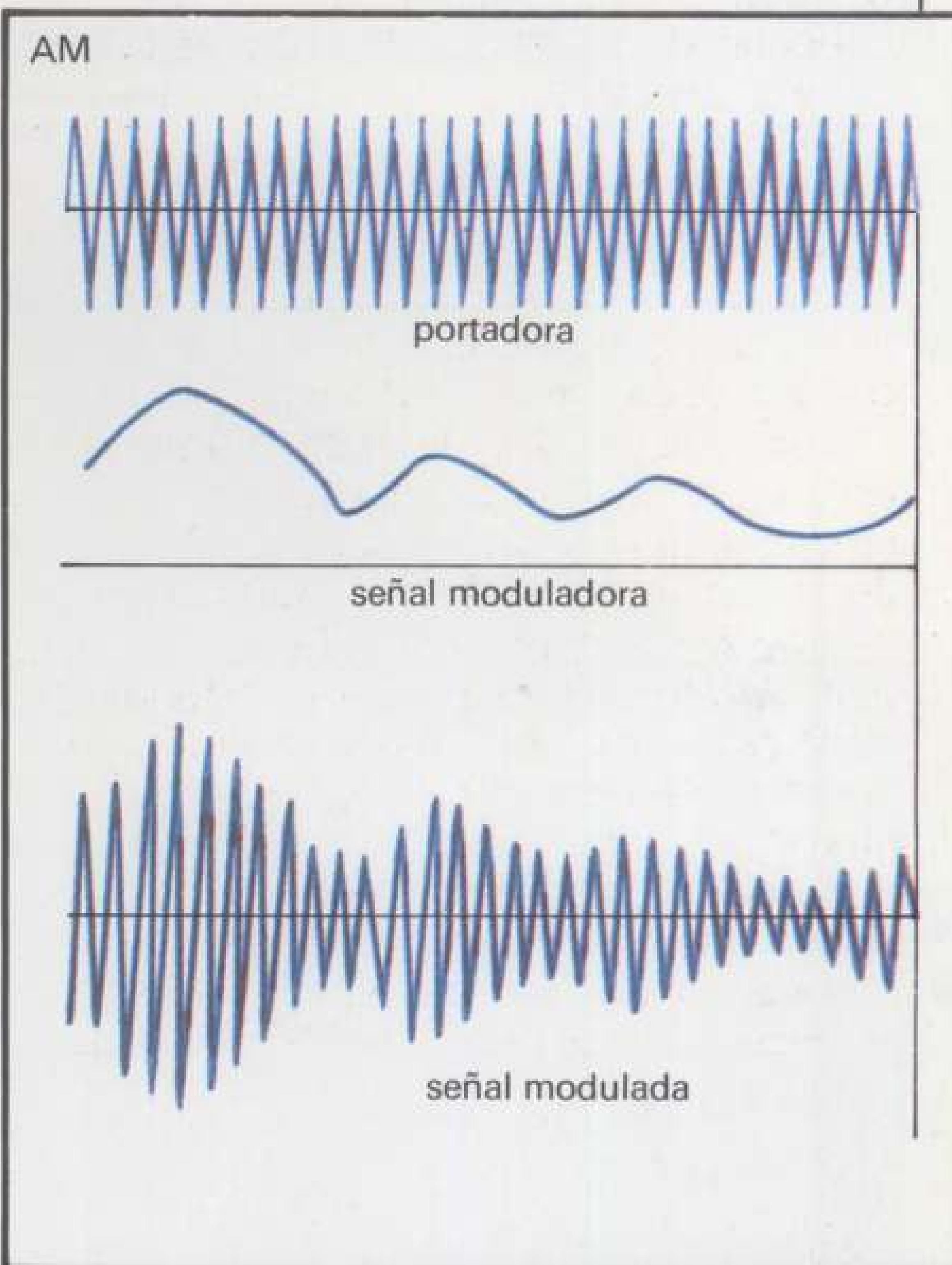
Todas las transmisiones por radio se efectúan sobre una onda portadora con una longitud y frecuencia establecidas. Debido a que en un determinado momento y lugar pueden estar propagándose muchas y distintas ondas portadoras, cada una de ellas tiene que tener una característica que la distinga de las demás para poder identificarla. Esta característica es la frecuencia, que es distinta para cada emisora y permite que los receptores sintonicen cada una de las portadoras por separado. De la misma manera que un banco acepta o rechaza un documento dependiendo de la firma que lleve, una antena receptora seleccionará las portadoras según su frecuencia.

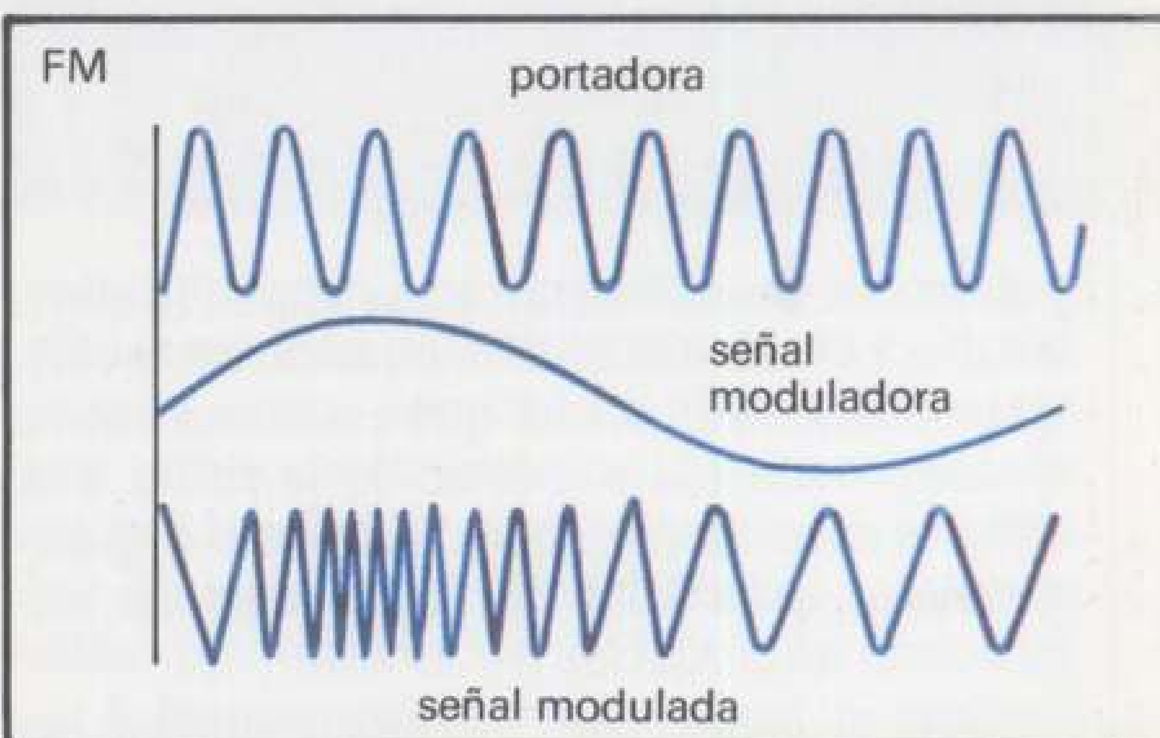
Los tipos de *modulación* más utilizados son la *modulación de amplitud* (AM) y la *modulación de frecuencia* (FM).

En el vacío, sin obstáculos, los frentes de las ondas de radio (y en general, de las ondas electromagnéticas) se propagan según superficies esféricas de radio creciente. Sobre la Tierra, las ondas encuentran obstáculos (y experimentan difracción) o superficies planas extensas (y se reflejan). Las ondas reflejadas o difractadas, al encontrarse con las ondas directas, producen fenómenos de interferencia, que pueden traducirse (dependiendo de las relaciones de fase entre ellas) en un aumento o atenuación de la señal original. Además, las precipitaciones influyen sensiblemente en la propagación de las on-

→ direcciones pueden experimentar tras chocar con superficies, como la del agua, que actúan a modo de espejo (página anterior, esquema central). La difracción tiene lugar cuando las ondas encuentran en su recorrido un obstáculo que difunde en todas las direcciones una parte de la energía incidente. Cuando hay reflexión, llegan juntas a la antena receptora señales ligeramente desfasadas (debido al mayor recorrido de la onda reflejada con respecto a la directa), con las interferencias y atenuaciones consiguientes. En cambio, con la difracción se produce una atenuación o pérdida de intensidad de la señal. Además, el índice de refracción del aire no es constante, sino que disminuye con la altura; por este motivo, a medida que la onda electromagnética se acerca a las capas altas de la atmósfera, su trayectoria, de acuerdo con las leyes de refracción, cambia y se inclina hacia abajo (esquema de la página anterior, abajo) con respecto a la hipotética trayectoria recta que debería seguir si el espacio fuese libre o vacío. La lluvia también influye en la propagación de las ondas electromagnéticas, atenuándolas. La atenuación es tanto mayor cuanto más intensa sea la lluvia y cuanto más elevada sea la frecuencia de onda, como puede apreciarse en el gráfico bajo estas líneas (la atenuación se mide en decibelios por kilómetro recorrido a través de la lluvia).







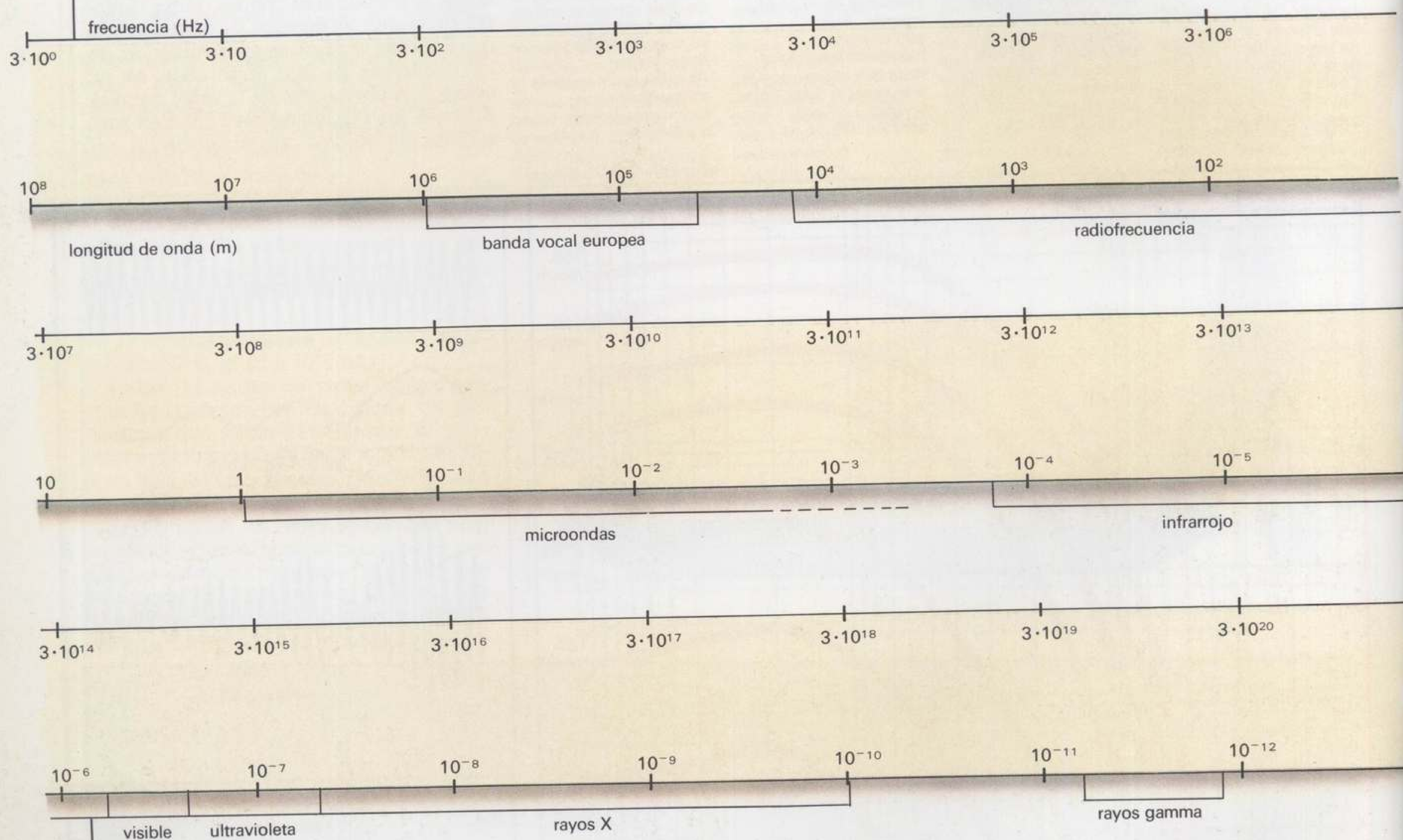
Entre los métodos de modulación de ondas electromecánicas, los más comunes son la modulación de amplitud (dibujo de superior) y la de frecuencia (dibujo inferior). En el primer caso permanece constante la frecuencia y se hace variar la amplitud en función de la señal moduladora. En el segundo caso permanece constante la amplitud de la onda portadora y se hace variar su frecuencia según la moduladora.

das, atenuándolas tanto más cuanto mayor es la intensidad de la precipitación. Por ello es sumamente importante dimensionar correctamente las antenas emisoras, debiendo realizarse siempre estudios previos sobre las características climáticas de la región. Con el fin de evaluar y mejorar la eficacia de las instalaciones radiotransmisoras, diversos organismos internacionales han acometido importantes proyectos de estudio sobre pluviometría, circulación general de vientos y otros factores climáticos.

Primeras realizaciones y reglamentación Los principios de la radiodifusión

tintos países han afrontado este problema de formas diferentes: en Estados Unidos la empresa privada ha mantenido el control de la radiodifusión, aunque se estableció un organismo, la *Comisión Federal de Comunicaciones* (FCC, *Federal Communication Commision*) como ente encargado de asignar las frecuencias, conceder las licencias, desarrollar los niveles de radiodifusión y evitar la creación de monopolios. Los países europeos y Japón han adoptado una legislación diferente. En Gran Bretaña, por ejemplo, la *British Broadcasting Company* (BBC) ha asumido el control de la radiodifusión como ente público responsable. Por otro lado, en Fran-

En la página siguiente, a la izquierda, el repetidor de Monte Serra y, a la derecha, una antena de 11 metros para comunicaciones espaciales (Thailandia). En el esquema inferior se reproduce el espectro de frecuencias de las ondas electromagnéticas. Los principales usos de las distintas bandas de frecuencia son: entre 30 Hz y 3 KHz, industriales y telefonía directa; entre 3 y 30 KHz (VLF), radionavegación; entre 30 y 300 KHz (LF), radiodifusión (ondas largas); entre 300 KHz y 3 MHz (MF), radiodifusión (onda media de modulación de amplitud); entre 3 y 30 MHz (HF), radiodifusión (onda corta y modulación de frecuencia); entre 30 y 300 MHz (VHF), radiodifusión, televisión, modulación de frecuencia; entre 300 MHz y 30 GHz (UHF), televisión, radar, radioenlaces.



comercial se remontan a los años siguientes a la I Guerra Mundial, cuando se levantaron las restricciones que pesaban sobre el uso no estatal o militar de la radio. Por todo el mundo nacieron emisoras experimentales, animadas por las voces de numerosos aficionados.

Con el *boom* que experimentaron las emisoras de radio en los años veinte, comenzaron los problemas de control y asignación de longitudes de onda y frecuencias. La necesidad de que sólo un número determinado de emisoras de radio puedan operar en un determinado lugar y momento es la causa de que la reglamentación se convierta en un elemento clave en el desarrollo de la radiodifusión. Los distintos países han afrontado este problema

cia, la empresa privada y la estatal operaban conjuntamente en un principio, pero finalmente la radiodifusión quedó bajo control estatal.

Radiodifusión internacional La radiodifusión internacional tiene que enfrentarse a dos problemas fundamentales: el de limitar el alcance de las emisoras de radio y el de respetar unas determinadas frecuencias de emisión. Estos problemas sólo pueden resolverse a través de la cooperación internacional. En 1925, una reunión informal entre diez naciones llevó a la formación del primer organismo internacional para la radiodifusión, la *Union Internationale de Radiophonie*. Este organismo desarrolló planes y acuerdos sobre derechos de propiedad, asignación de frecuencias e intercambio de programas. Su resolución sobre asignación de longitudes de onda concedía a cada país un determinado número de frecuencias de onda larga, media y corta, dependiendo de su extensión, población e importancia de su tráfico radiofónico. En las sucesivas conferencias de los años treinta, cuarenta y cincuenta se codificaron las listas de frecuencias internacionales y se reestructuró una nueva asignación de frecuencias. En 1963, en la reunión de Ginebra, se introdujo como novedad la asignación de bandas de frecuencia en el espacio. En 1970 se instituyó la Unión Internacional de





Telecomunicaciones (UIT) y, actualmente, existen diversos organismos de radiocomunicación entre los distintos bloques geográficos y políticos del mundo. Al tiempo que se realizan nuevos descubrimientos, y progresan los sistemas de radiodifusión, estas organizaciones siguen afrontando el problema de reglamentar la difusión y utilización de las ondas de radio.

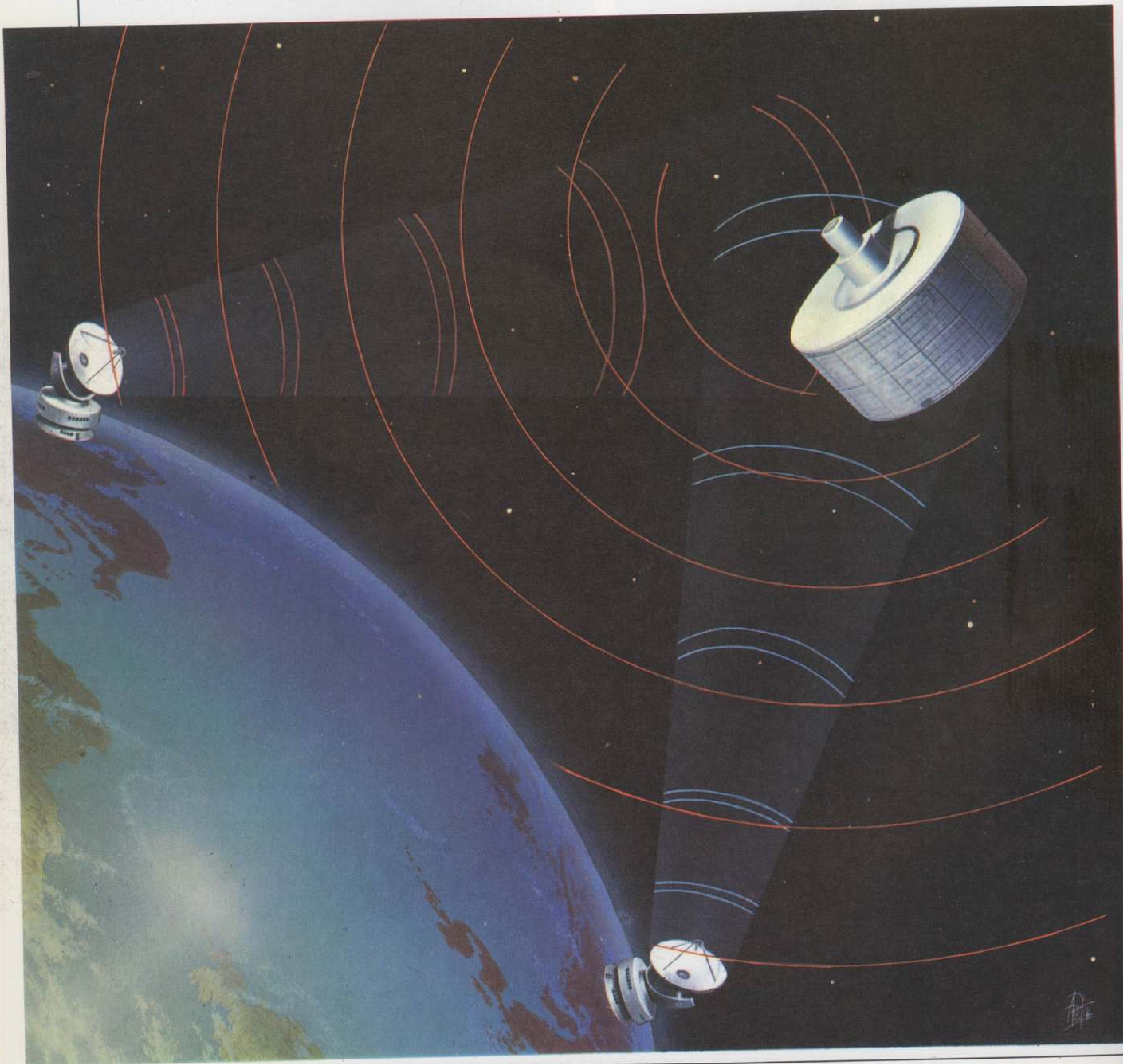
Radiodifusión y radioenlaces Las emisoras de radiodifusión que se pueden captar con aparatos radiorreceptores normales utilizan frecuencias comprendidas entre 600 y 1.600 KHz, para la onda media con modulación de amplitud, y frecuencias entre 88 y 108 MHz para la onda corta con modulación de frecuencia. Las emisiones en onda media tienen un alcance o radio de propagación bastante grande (en buenas condiciones, hasta de varios cientos de kilómetros), mientras que las emisiones de onda corta en modulación de frecuencia tienen un radio de propagación más pequeño, con la ventaja de que la calidad de recepción es mejor y de que disponen de un número mayor de canales de emisión. En cambio, las emisiones de televisión se realizan a través de ondas cortas de UHF, entre 41 y 68 MHz y entre 174 y 223 MHz, y en ondas cortísimas, de VHF, entre 470 y 960 MHz. Las frecuencias de las bandas de VHF y UHF se utilizan también para comunicaciones entre sistemas móviles, como entre barcos o aviones, y emisoras fijas, mientras que las comunicaciones entre estaciones fijas, que permiten la transmisión de un número elevado de comunicaciones telefónicas y de señales de televisión, utilizan frecuencias más altas, por encima de 1 GHz.

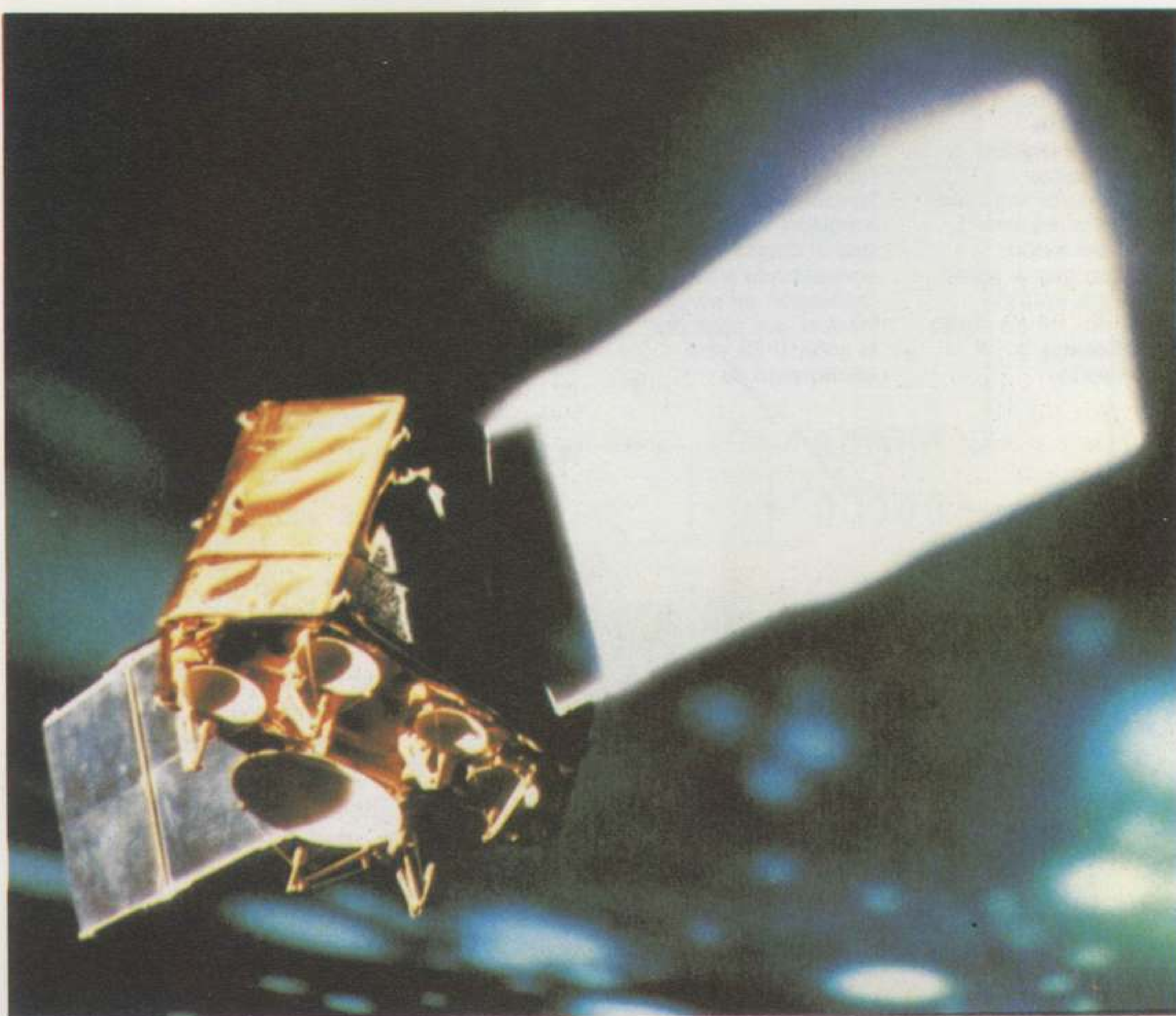
A frecuencias tan elevadas, la comunicación sólo es posible si las estaciones están en condiciones de "visibilidad": para comunicar localidades muy lejanas, es preciso la instalación de una cadena de repetidores intermedios (estaciones que reciben la señal por un lado y la vuelven a transmitir por otro). Los sistemas más modernos, que trabajan con frecuencias de 18 GHz, requieren que las distancias

entre estos radioenlaces no sobrepasen los 10 kilómetros, ya que por encima de 10 GHz la lluvia intensa puede afectar gravemente a las comunicaciones.

Los previsibles progresos en el campo de la tecnología electrónica pondrán a nuestra disposición, en un futuro próximo, nuevos sistemas capaces de utilizar las regiones del espectro correspondientes a frecuencias mucho más elevadas, que hasta el momento no se han podido utilizar: se prevé el empleo de sistemas de 30 GHz para las comunicaciones vía satélite.

Comunicaciones vía satélite Cuando las localidades entre las que se tiene que establecer una comunicación están muy distantes una de otra, y entra, por tanto, en juego la curvatura de la Tierra, haciendo que sea más difícil o imposible la "visibilidad" entre los repetidores, entonces la única solución consiste en disponer de un nuevo repetidor que, evidentemente, cuanta mayor sea la altura a que esté situado, mayor será su visibilidad y, por tanto, su eficacia. La solución ideal se fue perfilando a partir de 1957, cuando la URSS puso en órbita el primer satélite artificial. En abril de 1965, EE UU colocó en órbita el primer satélite geoestacionario, el *Early Byrd*. Un satélite geoestacionario es un satélite que se desplaza en su órbita con la misma velocidad de rotación que el planeta y, en consecuencia, permanece siempre fijo con respecto a un determinado punto de la Tierra. Esta característica le permite operar como si fuera un repetidor colocado en lo alto de un poste altísimo. Para que la órbita pueda ser geoestacionaria, el satélite debe estar situado a unos 36.000 kilómetros de altura: desde esa altura su campo de visión cubre más de un tercio de la superficie terrestre, de forma que con tres satélites se cubre toda la superficie de la Tierra. Por tanto, con sólo tres satélites repetidores (si tuvieran la suficiente capacidad en cuanto a número de canales) se podría cursar todo el tráfico te-





lefónico, de radio, de televisión y de transmisión de datos entre los distintos países.

Actualmente, la tecnología sobre satélites de telecomunicación se ha convertido en algo tan sofisticado que estos repetidores resultan una solución válida y atractiva no sólo para el tráfico intercontinental sino también para el continental.

La utilización de satélites permite que los radioyentes y telespectadores puedan seguir en directo desde sus casas acontecimientos como los Juegos Olímpicos y otras competiciones deportivas, sucesos políticos de relieve, ceremonias significativas, etc. Los satélites permiten establecer comunicación con cualquier parte del mundo, y eliminan la necesidad de transmitir las señales de radio a través de enlaces complicados. Durante los años ochenta se está llevando a cabo la adaptación de la mayor parte de las redes de comunicación existentes a los sistemas de comunicación vía satélite. El impacto que causará este sistema es todavía incierto, pero se puede afirmar que los satélites suponen ya una auténtica revolución en las comunicaciones por radio y televisión en todo el mundo.

Véase **Antena; Radio; Satélites artificiales; Telecomunicaciones militares; Televisión**

A la izquierda, el principio de funcionamiento de un sistema de comunicaciones por satélite, que es parecido al de un radioenlace. Dos estaciones terrestres alejadas, separadas por el océano, se pueden comunicar a través de un satélite artificial que funciona como estación repetidora. Un satélite de telecomunicaciones es muy útil cuando es geoestacionario, es decir, si permanece constantemente situado sobre el mismo punto de la Tierra. Para colocar un satélite en una órbita con una determinada altura es necesario imprimirle una velocidad tangencial que genere una fuerza centrífuga exactamente igual a la fuerza de gravedad a esa altura. La figura sobre estas líneas muestra algunas relaciones entre la altura y el período de rotación de un satélite. El período de 24 horas corresponde a una altura de 36.000 kilómetros sobre la superficie de la Tierra. Más arriba puede observarse un satélite experimental europeo para comunicaciones OTS.

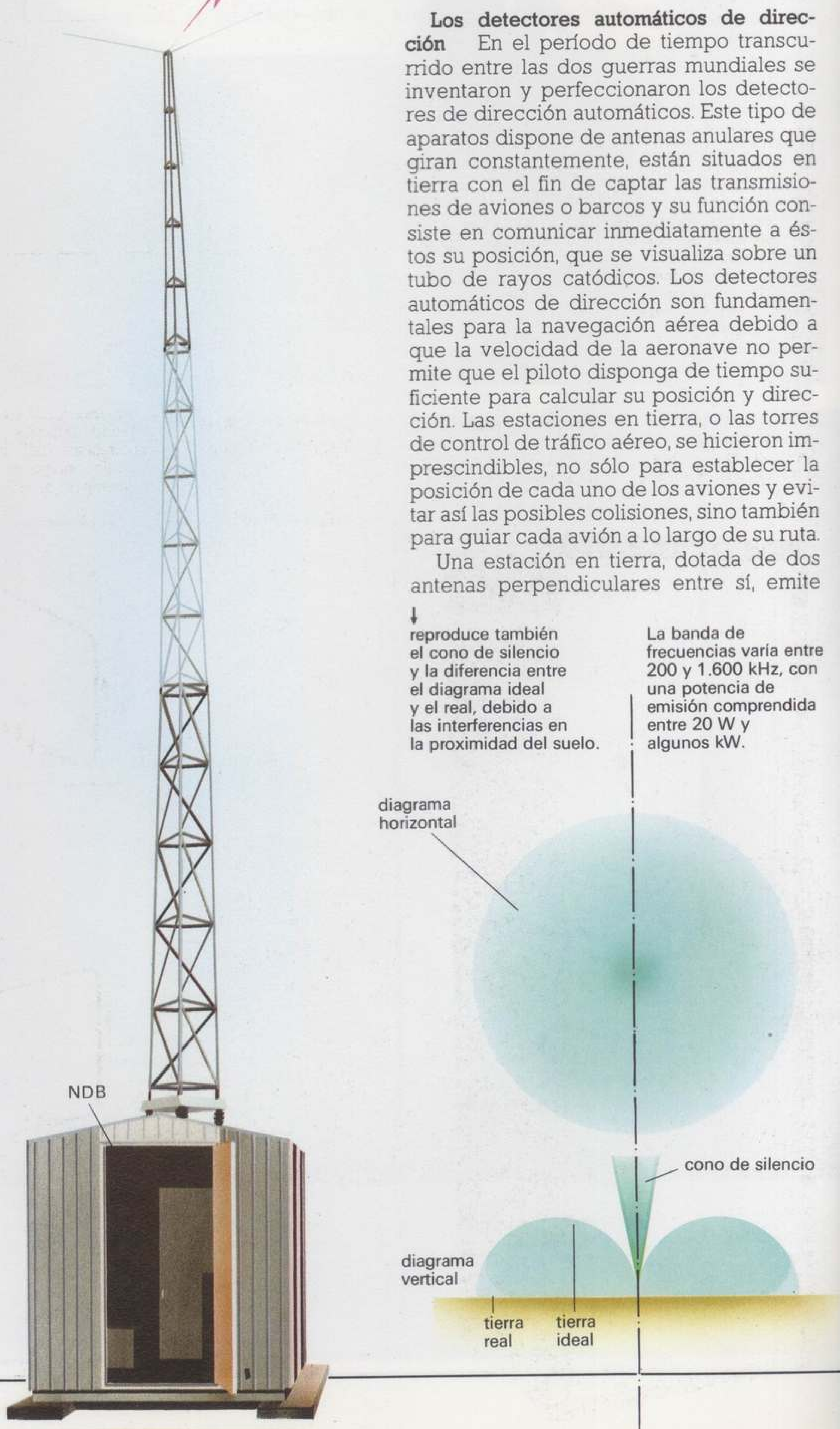
Radiofaro

La navegación fue uno de los primeros campos de aplicación de las ondas de radio. Se empezó utilizando una señal de impulsos de radio para controlar la precisión de los relojes instalados a bordo, y más tarde se descubrió que se podía determinar la dirección de procedencia de la señal instalando en el barco una antena receptora especial en forma de anillo.

Las primeras estaciones radiotransmisoras utilizadas para determinar una dirección (DF, *direction finding*) se llamaron *radiofaros*.

Al emprender un viaje, el marino traza la ruta a seguir sobre una carta de navegación y, una vez calculada la distancia a cubrir y conociendo su velocidad de ruta, obtiene el tiempo necesario para llegar al destino establecido. Este procedimiento se denomina *estimación de la posición* (DR, *dead reckoning*). De forma análoga, la navegación aérea también necesita cartas de vuelo para estimar la posición, y utiliza la misma terminología y las mismas unidades de medida que la navegación marítima. En todo momento del viaje se puede evaluar la posición del barco o avión en función del tiempo transcurrido desde la salida y de acuerdo con la ruta preestablecida. Pero en ambos casos, las variaciones que pueden ocasionar el viento y las corrientes marinas no se pueden prever con precisión, por lo que se hace necesario un control continuo y riguroso de la posición.

Determinación de la dirección Para determinar con ayuda de un radiofaro la posición en un momento determinado, se sintoniza el aparato receptor del barco o avión en la frecuencia de transmisión de una estación emisora próxima cuya situación geográfica sea conocida. Al principio, todas las emisoras estaban situadas en la costa. La antena en forma de anillo, que para una buena recepción tiene que estar en un plano perpendicular a la dirección de propagación de la señal que recibe, se hace girar hasta el punto en que la señal recibida se hace mínima. La posición de la antena en ese punto donde la señal es mínima indica la dirección precisa en que se encuentra la estación emisora respecto al barco o avión. Sobre un mapa se traza entonces una recta, que pasa por el radiofaro sintonizado, de acuerdo con la dirección que proporciona la señal detectada. En ese momento, tras realizar esta primera medición, lo único que se puede afirmar es que el barco (o avión) está situado en un punto de esa recta. Para determinar la posición con exactitud, se debe realizar una segunda medición; para ello se elige un segundo radiofaro y, procediendo del mismo modo que antes, se obtiene una nueva recta en la dirección que éste proporciona. Llevando esta nueva recta sobre el mapa, se puede comprobar que corta a la primera en un punto. Ese punto de intersección de las dos rectas determina exactamente la posición en que se encuentra el móvil del cual se han efectuado las medidas.



Abajo, la antena fija en tierra de un radiofaro. Esta instalación de transmisión por radio emite señales omnidireccionales que, captadas convenientemente por el aparato receptor a bordo del avión, permiten que el piloto disponga, en todo momento, de un punto de referencia y orientación.

Abajo, el diagrama del campo irradiado por una antena de radiofaro NDB (*non directional beacon*). La imagen superior muestra la proyección horizontal del campo irradiado, mientras que el diagrama inferior corresponde a la irradiación en un plano vertical que pasa por la antena. En este último caso se ↓ reproduce también el cono de silencio y la diferencia entre el diagrama ideal y el real, debido a las interferencias en la proximidad del suelo.

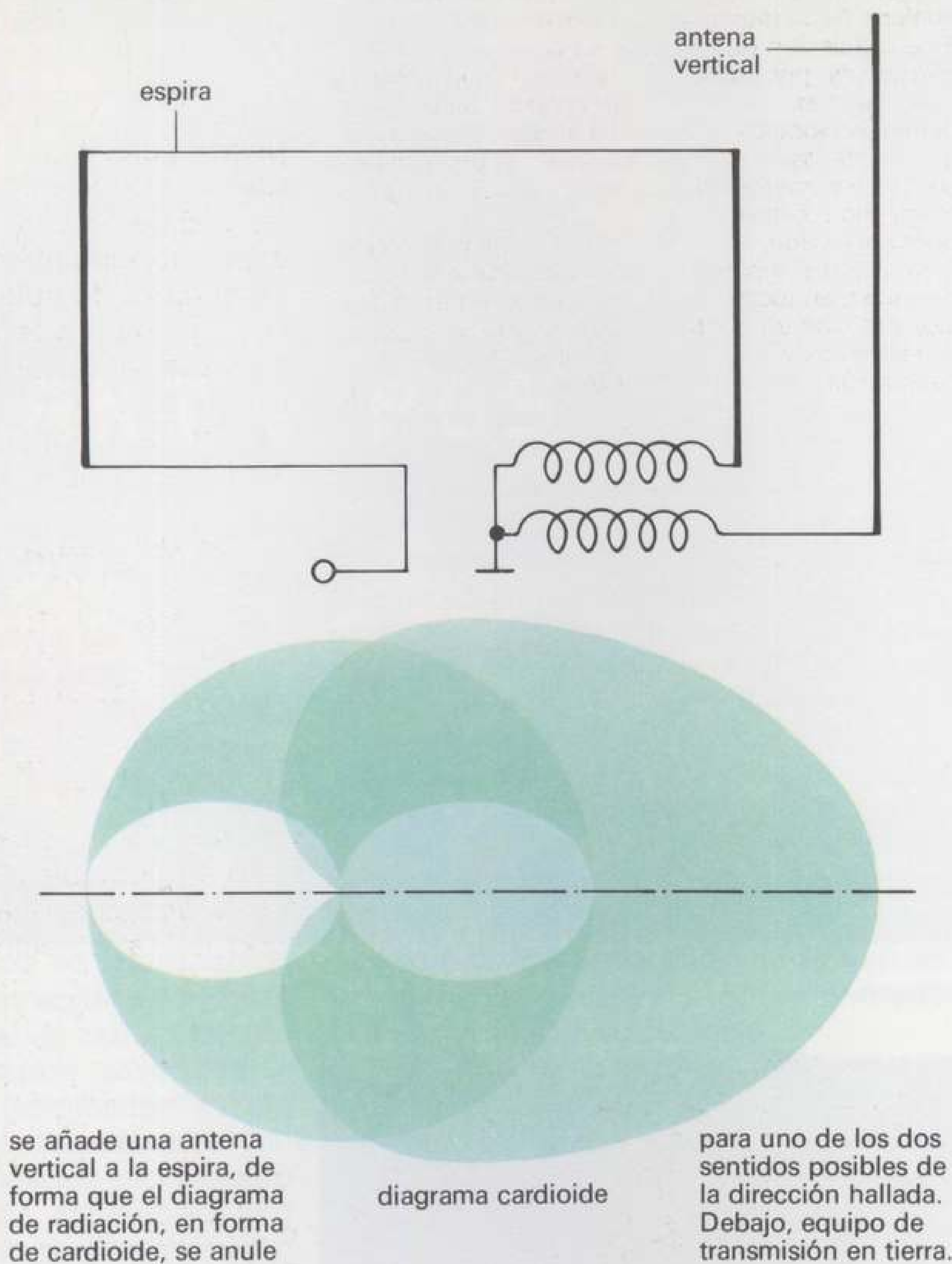
La banda de frecuencias varía entre 200 y 1.600 kHz, con una potencia de emisión comprendida entre 20 W y algunos kW.

La posición del barco o del avión se puede determinar también desde tierra si dos o más estaciones receptoras captan las señales que aquéllos transmiten. Sin embargo, este método de detección tiene un número de aplicaciones bastante limitado, ya que la reflexión y refracción de las ondas en la ionosfera (que es el estrato superior de la atmósfera terrestre) pueden producir fenómenos de distorsión en la dirección de la señal.

Los detectores automáticos de dirección En el período de tiempo transcurrido entre las dos guerras mundiales se inventaron y perfeccionaron los detectores de dirección automáticos. Este tipo de aparatos dispone de antenas anulares que giran constantemente, están situados en tierra con el fin de captar las transmisiones de aviones o barcos y su función consiste en comunicar inmediatamente a éstos su posición, que se visualiza sobre un tubo de rayos catódicos. Los detectores automáticos de dirección son fundamentales para la navegación aérea debido a que la velocidad de la aeronave no permite que el piloto disponga de tiempo suficiente para calcular su posición y dirección. Las estaciones en tierra, o las torres de control de tráfico aéreo, se hicieron imprescindibles, no sólo para establecer la posición de cada uno de los aviones y evitar así las posibles colisiones, sino también para guiar cada avión a lo largo de su ruta.

Una estación en tierra, dotada de dos antenas perpendiculares entre sí, emite

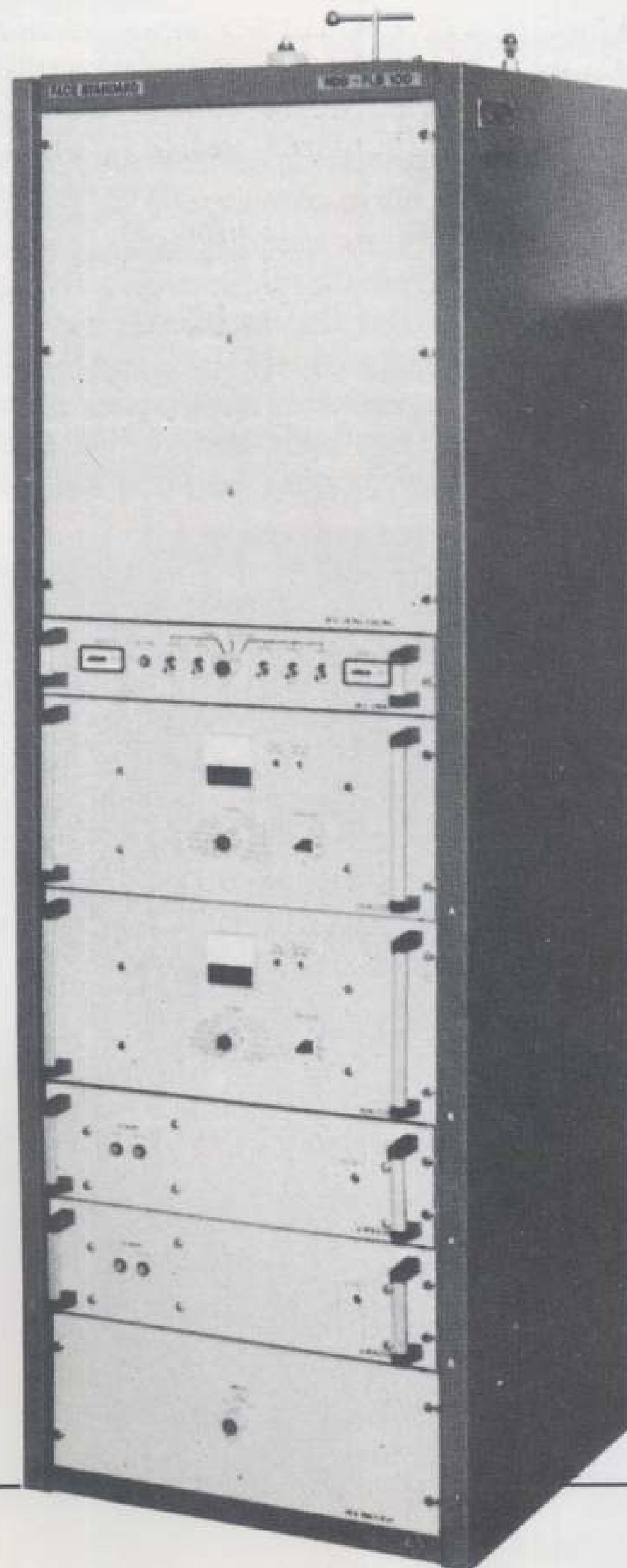
La aeronave lleva a bordo un radiogoniómetro ADF (*airborne direction finder*), que puede detectar automáticamente la dirección en que se encuentra un radiofaro en tierra. El principio de funcionamiento del radiogoniómetro se representa en los dos esquemas de abajo, a la derecha. Considérese una espiral conductora rectangular: si la señal emitida por el radiofaro está polarizada verticalmente y la espira se encuentra en un plano perpendicular a su dirección de propagación, en los dos brazos verticales se inducirán dos tensiones iguales, por lo que habrá tensión de salida. Si se gira el plano de la espira de forma que esté en la dirección de propagación de la señal, las tensiones inducidas en los dos brazos serán diferentes y se obtendrá una señal de salida. Junto a estas líneas, para eliminar la incertidumbre sobre el sentido en que se propaga la señal dentro de la dirección conocida del radiofaro, se añade una antena vertical a la espira, de forma que el diagrama de radiación, en forma de cardioide, se anule para uno de los dos sentidos posibles de la dirección hallada. Debajo, equipo de transmisión en tierra.

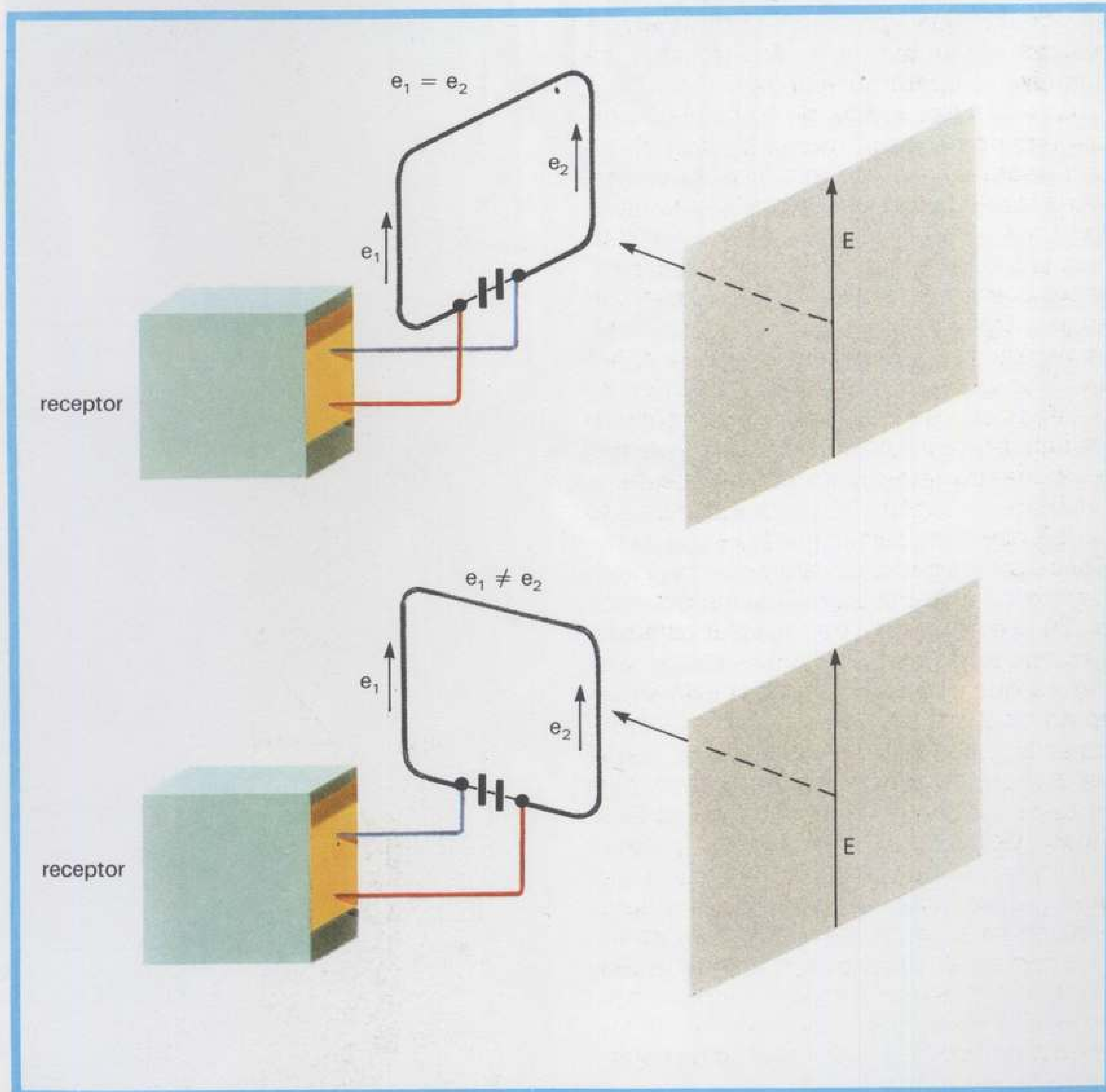


dos tipos de ondas: una de puntos y otra de líneas. Si un avión se encuentra alineado con estas señales, los puntos y las líneas se alternan unos con otras, produciendo un sonido continuo. Este sistema se conoce con el nombre de radiofaro direccional, y su utilidad está bastante condicionada por el hecho de que sólo puede proporcionar el rumbo en el caso de que la dirección de vuelo coincida con una de las cuatro direcciones, perpendiculares entre sí, que parten del faro. Para evitar estas limitaciones, se han inventado también otros sistemas de detección de dirección, como el radiofaro direccional conocido como VOR (*very high frequency omnidirectional radio range, radiofaro omnidireccional de muy alta frecuencia*), que permite a los aviones encontrar su posición, cualquiera que sea su dirección de vuelo.

Además, se han desarrollado sistemas para la medida de la distancia (DME, *distance measuring equipment*), que envían a tierra impulsos cortos de ondas de radio y miden el tiempo que transcurre entre la emisión de un impulso y la recepción de su eco. Con este sistema se puede medir la altitud a la que vuela un avión o la profundidad de los fondos marinos. El principio físico de estos aparatos, que miden el tiempo que tarda en volver el eco de una señal emitida, es similar al sistema de sonar que utilizan los murciélagos para volar en la oscuridad.

Véase **Aviónica; LORAN; Navegación inercial; Radar**





Radioisótopos

Muchas de las reacciones químicas que durante largo tiempo han constituido un misterio para los químicos han sido posteriormente comprendidas gracias a las nuevas técnicas en el empleo de las propiedades radiactivas de ciertos elementos. Los átomos radiactivos pueden ser seguidos con relativa facilidad en su trayectoria puesto que emiten partículas o radiación muy fácilmente detectables e identificables. La rama de la Química que se ocupa de la preparación y del empleo de las formas radiactivas de los elementos se llama Radioquímica.

Isótopos y radioisótopos El núcleo de cada átomo contiene un cierto número de protones que le caracteriza, y un cierto número de neutrones. Así como el número de protones es siempre el mismo para cada elemento —comenzando con el elemento número uno, el hidrógeno, que tiene un protón—, no ocurre lo mismo con el número de neutrones, pudiendo haber distinto número de ellos para un mismo elemento. Los átomos de un mismo elemento que presentan en sus núcleos diferente número de neutrones se llaman *isótopos* del elemento.

La mayor parte de los elementos existentes en la Naturaleza tiene unas proporciones fijas de varios isótopos. Así, por ejemplo, el cloro, elemento número 17, está integrado por un 75% de cloro 35, con 18 neutrones en su núcleo, y un 25% de cloro 37, con 20 neutrones en su núcleo. Los isótopos de un mismo elemento tienen un comportamiento químico idéntico desde el punto de vista práctico; es decir, se combinan con los otros elementos en la misma proporción y los compuestos que resultan tienen las mismas propiedades, ya que su única diferencia radica en la pequeña variación de la masa de su núcleo, que no afecta tampoco a las propiedades eléctricas del átomo. Por esta misma razón, los distintos isótopos de un elemento sólo pueden separarse mediante procesos físicos específicos y por las reacciones químicas comunes.

Cuando un isótopo de un elemento tiene una proporción tal de neutrones en su núcleo que éste resulta energéticamente inestable, se emite la energía excedente al exterior en forma de partículas, de radiación, o de ambas cosas. Se dice entonces que es un isótopo radiactivo, o *radioisótopo*.

Preparaciones químicas De los 350 isótopos naturales, sólo 70 de ellos son radiactivos y no todos ellos son útiles para su aprovechamiento. Después de construirse, en 1930, los primeros aceleradores de partículas que permitieron crear haces de electrones y protones de alta velocidad, se vio la posibilidad de crear radioisótopos artificialmente, bombardeando isótopos estables con dichas partículas.

Sin embargo, es a partir de la década de 1950-1960 cuando se construyen y entran en servicio los primeros reactores nucleares de fisión, comenzando la producción en gran escala de los radioisótopos, ya que al funcionar aquéllos a base de una reacción nuclear de fisión, de alto flujo de neutrones, permiten con suma facilidad la irradiación de sustancias estables introducidas en dicho flujo, que se transforman así en isótopos radiactivos.

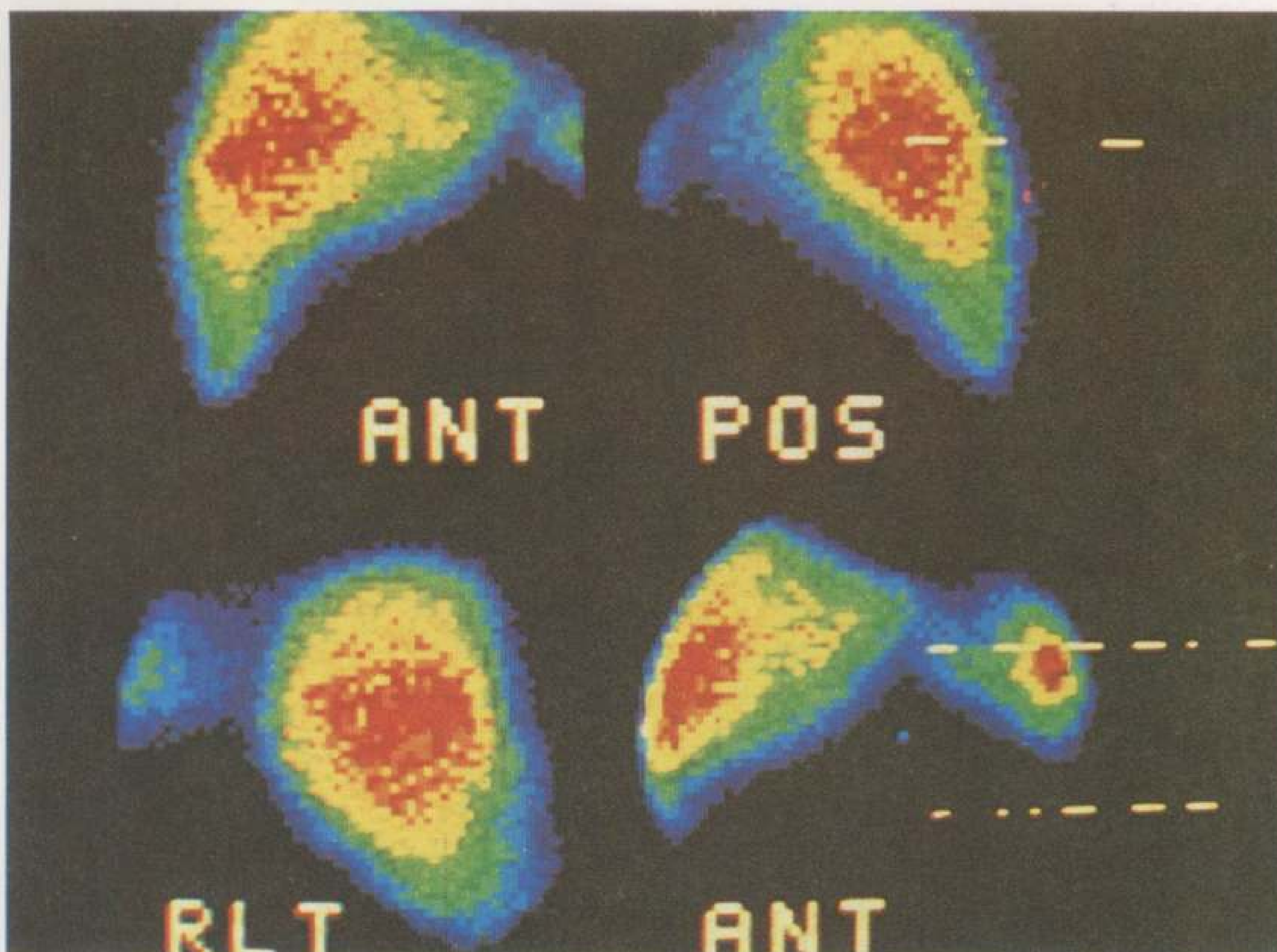
Los reactores utilizados con estos fines, que suelen ser de poca potencia, llevan incorporados conductos que atraviesan la zona de flujo neutrónico del núcleo. En su interior, y encerrados en contenedores apropiados movidos a distancia por aire comprimido, se colocan las sustancias a irradiar. La salida se conecta habitualmente a las celdas de laboratorio de radioquímica anexas, preparadas para manipulaciones radiactivas, en donde se realizan las correspondientes transformaciones químicas de separación de los radioisótopos producidos, así como la preparación para su manipulación y transporte.

Aplicaciones de los radioisótopos Los radioisótopos constituyen un instrumento analítico de gran sensibilidad e insustituible en muchos procesos de interés, si bien en algunos de ellos comienzan ya a aplicarse otras técnicas sustitutivas, como la resonancia magnética nuclear. Ello es debido a la facilidad de detección de sus emisiones radiactivas, que se producen átomo a átomo, mientras que las técnicas analíticas químicas precisan de muchos millones de átomos para llegar a ser detectables.

Además, los radioisótopos son testigos permanentes del lugar donde se encuentran en el curso de un proceso, ya que su comportamiento químico es análogo al del isótopo estable correspondiente, pero portando en su núcleo atómico las características radiactivas que permitirán localizarlos en cada momento, incluso desde el exterior, dado el poder de penetración de las emisiones radiactivas. En esta característica se basa su aplicación como



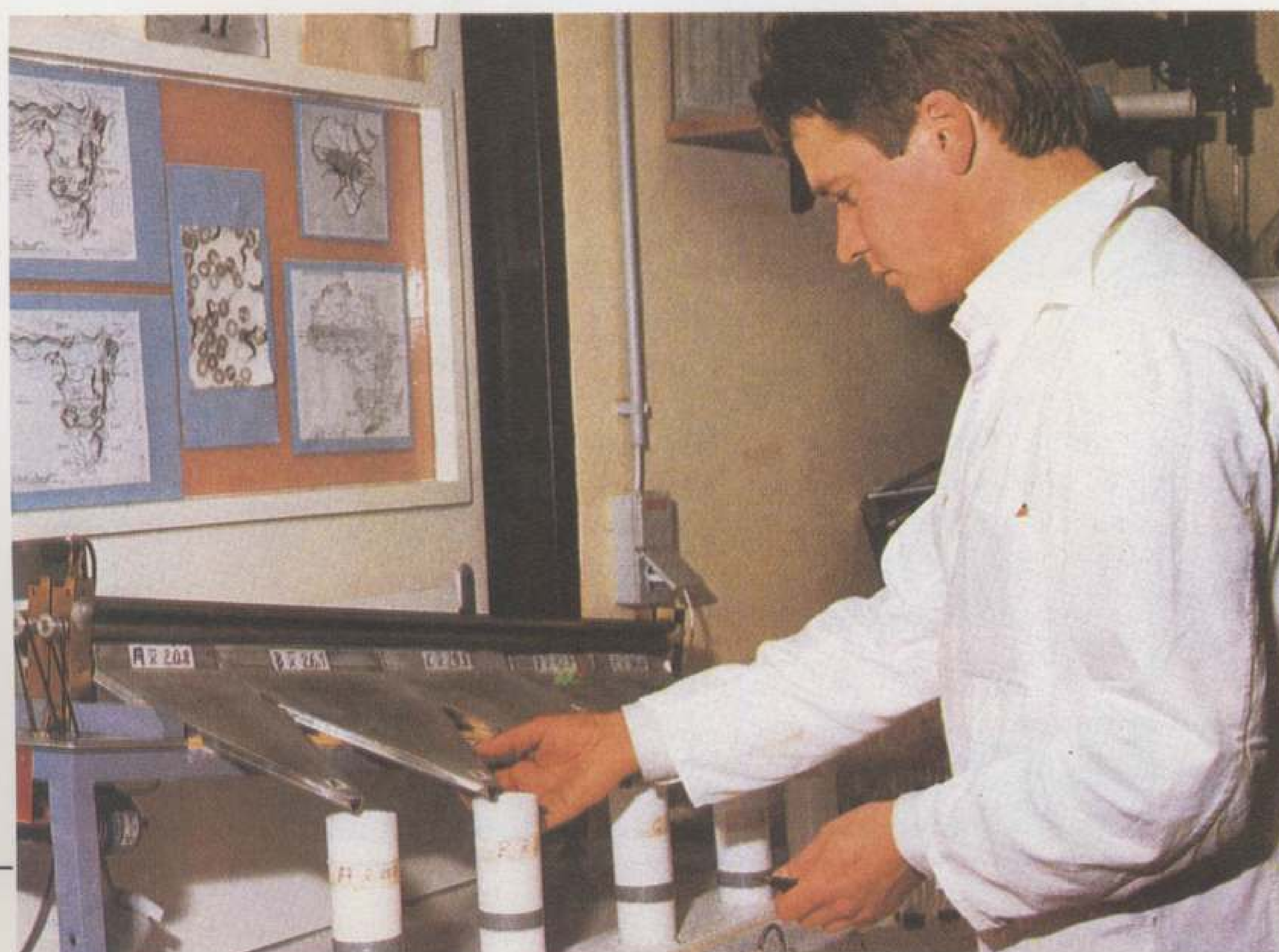
En la fotografía de la izquierda, espectacular toma de la vasija de un reactor para experimentos por irradiación y para la producción de los radioisótopos más comunes, mediante bombardeo neutrónico.



Arriba, imágenes obtenidas con ayuda de ordenador en la exploración del hígado de un paciente tras inyección intravenosa de un coloide de azufre marcado con Tc-99m. Las zonas roja y azul corresponden, respectivamente, a las de concentración máxima y mínima de la actividad. Abajo, clasificación de puparios de la mosca Tsé-Tsé para su irradiación y esterilización, liberándose luego en la regiones más afectadas de Africa para combatir así la plaga, provocando apareamientos infructuosos. Estas investigaciones son realizadas por la División Mixta FAO/OIEA, que se ocupa del empleo de isótopos y radiaciones nucleares en los proyectos para el desarrollo de la agricultura y la alimentación.

PRINCIPALES REACCIONES NUCLEARES USADAS PARA PRODUCIR RADIOISOTOPOS

Reacción	Símbolo	núcleo estable		neutrón		núcleo radiactivo		emisión resultante
neutrón	(n, γ)	$^{59}_{26}Co$	+	$^{1}_{0}n$	→	$^{60}_{27}Co$	+	γ
neutrón-protón	(n, p)	$^{32}_{16}S$	+	$^{1}_{0}n$	→	$^{32}_{15}P$	+	$^{1}_{1}p$
neutrón-α	(n, α)	$^{35}_{17}Cl$	+	$^{1}_{0}n$	→	$^{32}_{15}P$	+	$^{4}_{2}\alpha$



"trazadores" en toda clase de procesos físicos, químicos, biológicos y médicos, en los cuales se "marcan" las sustancias a seguir con una cierta proporción de átomos radiactivos.

Por otra parte, este poder penetrante de las radiaciones permite su utilización en la industria para el control interno de materiales y espesores, o como fuentes de irradiación en distintos campos de la medicina, agricultura, industria, técnica e investigación.

Los desechos radiactivos que se generan como consecuencia del empleo de los radioisótopos consisten, fundamentalmente, en fuentes radiactivas inservibles y materiales o restos biológicos contaminados. Sin embargo, estos últimos, así como las dosis de irradiación, derivadas del empleo directo de las radiaciones, sobre personas pueden minimizarse con una elección adecuada de los radioisótopos a emplear, sobre todo de período corto, y con la utilización de protecciones adecuadas para el resto del organismo en el caso de irradiaciones externas localizadas.

Aplicaciones Por todo ello, se ha desarrollado una gran diversidad de aplicaciones con casi un centenar de radioisótopos que se utilizan hoy en día, como son, por ejemplo: la irradiación de alimentos para prolongar su período y condiciones de conservación; la irradiación de insectos para su esterilización, con el consiguiente exterminio de plagas por apareamientos estériles, evitándose además con ello la contaminación debida al uso de plaguicidas químicos; el marcado de acuíferos para estudios de reserva, distribución y abastecimiento de agua; el marcado de fluidos para el estudio de transporte de materiales, desgaste y corrosión en instalaciones industriales; la preparación de vacunas radio-atenuadas; la fabricación de polímeros; la datación isotópica; el análisis de minerales en Geología; el análisis de residuos y contaminantes; las importantes aplicaciones médicas en diagnosis, terapia y radioinmunoanálisis; la gammagrafía y neutrografía industriales; las, en fin, múltiples aplicaciones diversas como en pararrayos, relojes, instrumentos de navegación, etcétera.

Después de cuarenta años de utilización de los radioisótopos artificiales convivimos con ellos de una forma más consciente, así como hemos convivido siempre, inconscientemente, con los radionucleidos naturales, a cuya acción estamos continuamente sometidos y que incorporamos a nuestro organismo con los alimentos y el aire inhalado. La contribución suplementaria de aquéllos a la irradiación media de la Humanidad sólo es significativa, por ahora, en el caso tan especial de la diagnosis y tratamiento médicos, en donde se estima que dicha contribución supera el 20% si se incluye los rayos X.

Véase **Atomo; Isótopos; Radiactividad; Radiología; Rayos X; Reacción nuclear; Residuos radiactivos**

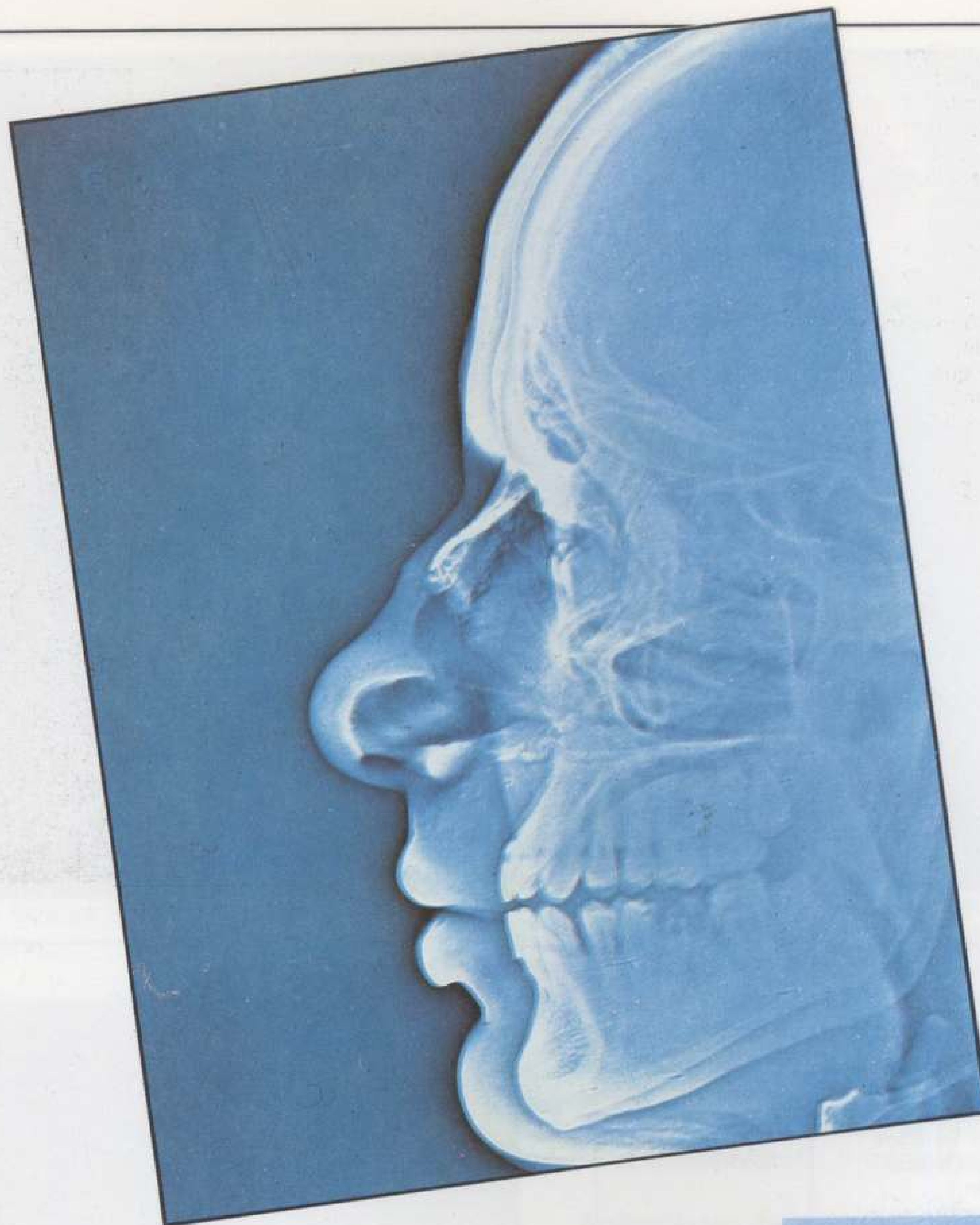
Radiología

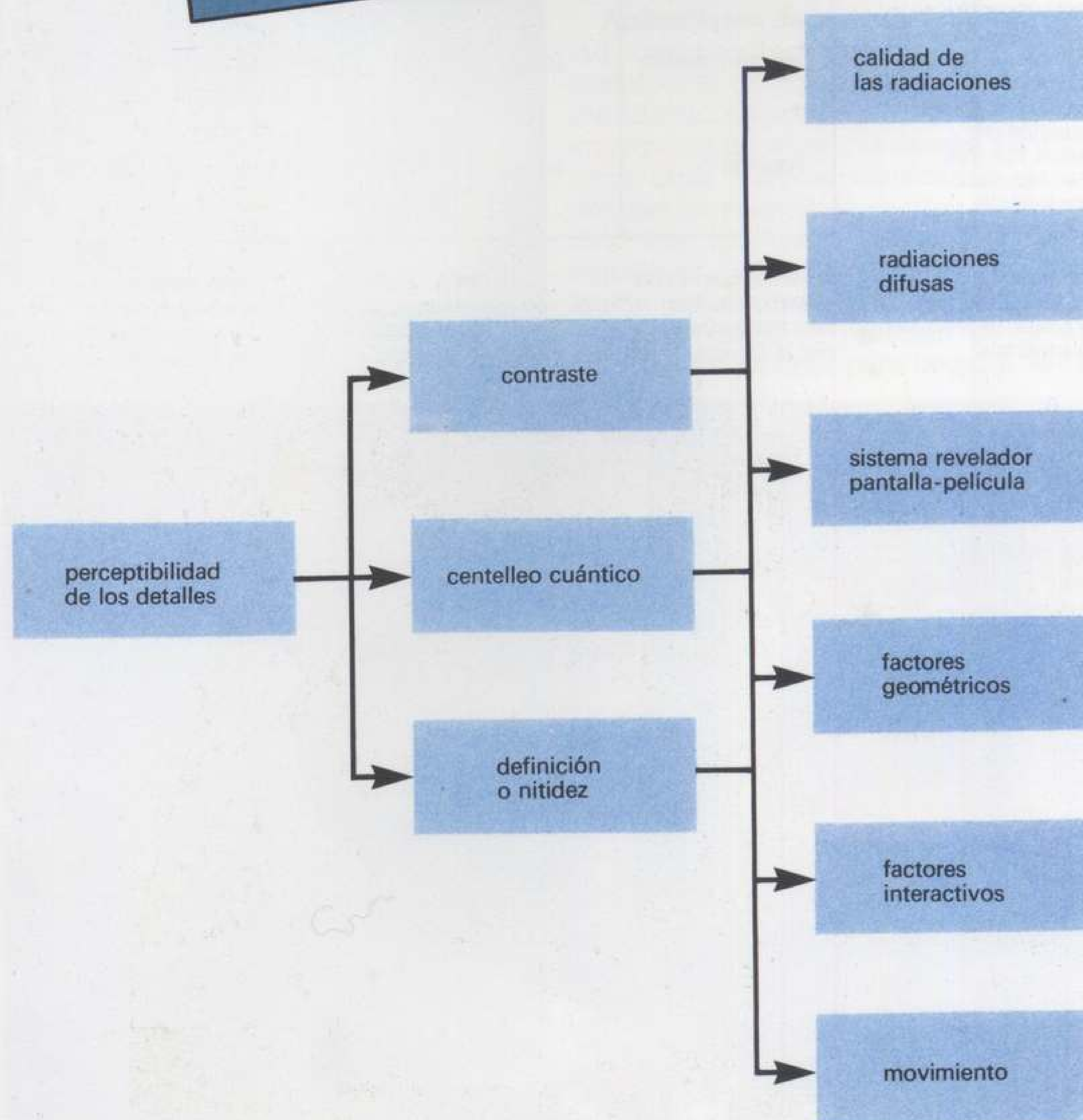
En 1895, el físico alemán William Conrad Roentgen descubrió que cuando los electrones se mueven a elevada velocidad, chocan con la materia, dando lugar a la emisión de una forma de radiación altamente energética. Esta radiación se denomina radiación X, y su descubrimiento es considerado como uno de los más extraordinarios de la ciencia moderna. Los rayos X han mostrado su particular utilidad en el campo de la Medicina, más concretamente en el diagnóstico médico. La ciencia que se ha desarrollado en torno a las aplicaciones médicas de los rayos X se denomina Radiología. Dicho en pocas palabras, la radiología utiliza la capacidad de penetración de distintas formas de radiación —los rayos X, la emisión radiactiva de algunas sustancias que se encuentran en la Naturaleza y también las ondas ultrasónicas— para "ver" más allá de la superficie corporal e indagar en las estructuras internas de los órganos, examinar las fracturas óseas e, incluso, identificar y tratar algunas neoplasias, como los cánceres y los tumores benignos. En la Radiología médica se distinguen fundamentalmente dos ramas: la Radiología diagnóstica y la Radiología terapéutica.

Radiología diagnóstica Constituye la aplicación más importante de la radiología que utiliza los rayos X. Se basa en el hecho de que éstos son capaces de atravesar la piel y la mayor parte de los tejidos del organismo, mientras que, por el contrario, son detenidos por las estructuras más densas, como los huesos. En la zona opuesta con respecto a la fuente de rayos X se coloca una pantalla fluorescente, es decir, que emite luz cuando es afectada por los rayos X. Esta pantalla se excita cuando los rayos X la atraviesan, mientras que permanece oscura cuando los rayos X son detenidos por el cuerpo en examen. Si el médico desea realizar una investigación con mayor detalle, puede inyectar una sustancia —como, por ejemplo, los compuestos de bario— que detenga los rayos X. Entre los progresos recientes en la técnica de inyección de medios de contraste se encuentra su inserción mediante minúsculos catéteres introducidos a través de venas y de arterias de grueso calibre que permiten alcanzar casi todas las regiones del cuerpo humano. Este procedimiento es extremadamente útil en la investigación de neoplasias malignas.

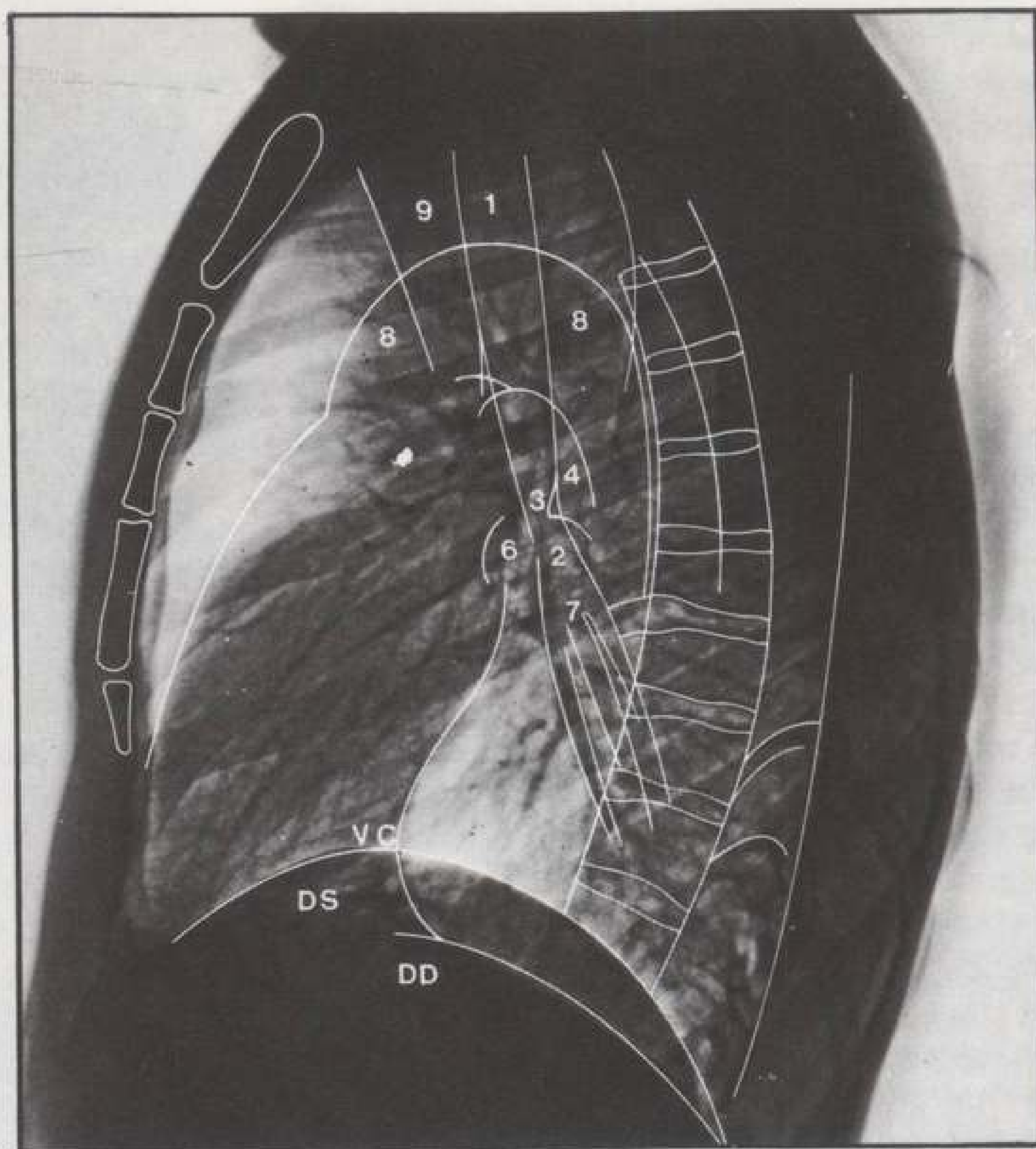
Cuando es necesario recoger una imagen fotográfica a partir de una pantalla fluorescente, ello se realiza de forma directa desde la pantalla. Este procedimiento, conocido como fotofluorografía, permite la obtención de las clásicas radiografías sobre películas transparentes.

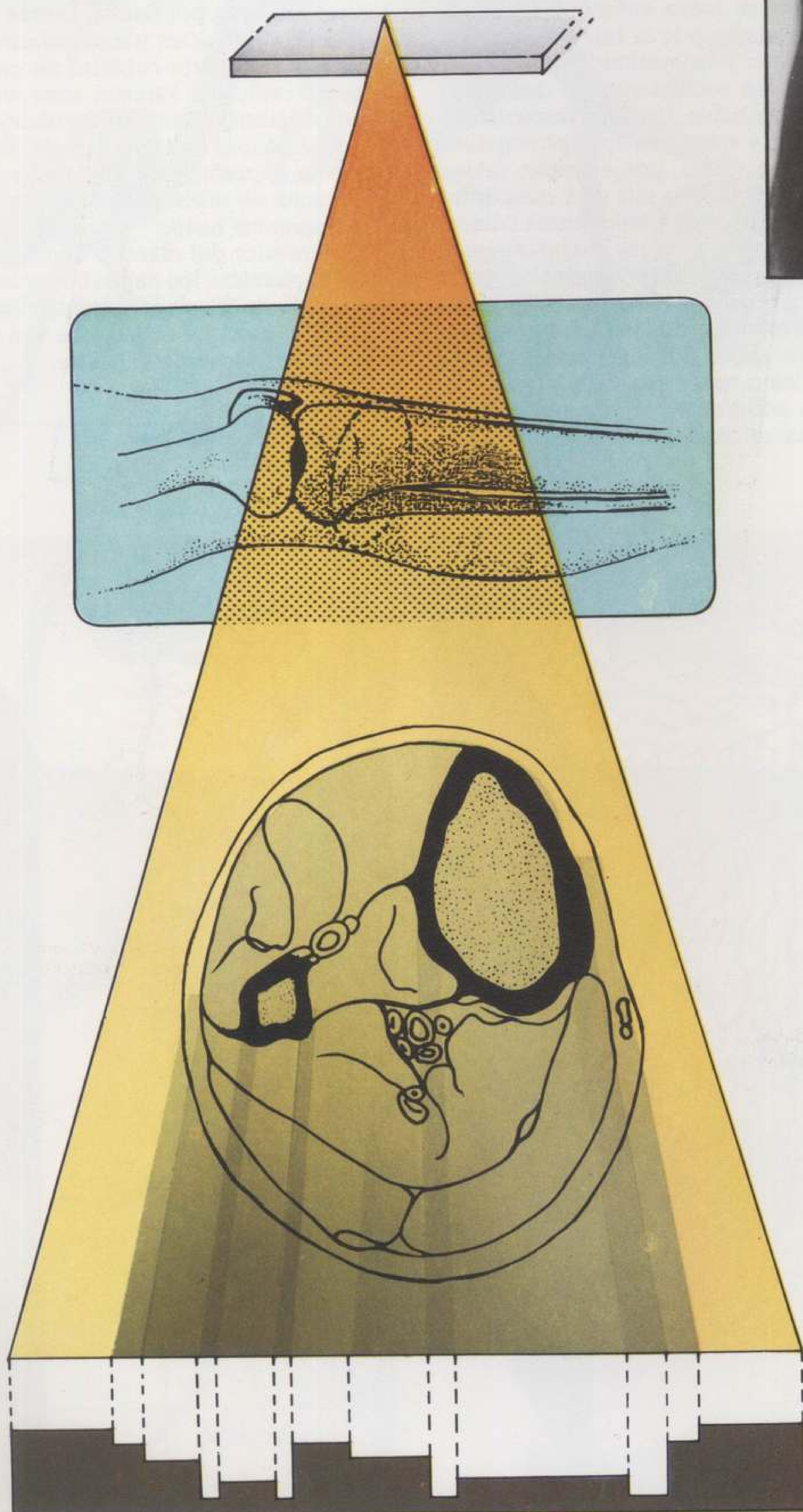
A pesar del notable progreso tecnológico, tanto en lo que se refiere a las placas fotográficas como en lo que concierne a los aparatos radiológicos, el diagnóstico radiológico sigue siendo una práctica clínica muy compleja. Efectivamente, la interpretación de las imágenes radiológicas





En la parte inferior aparece ilustrado el principio general de la formación de imágenes radiográficas: el haz de rayos corta la estructura en exploración y pasa más fácilmente por las zonas donde existen tejidos menos duros. En proyección vemos, precisamente, el resultado que se obtiene sobre la placa mediante un histograma. En correspondencia con los tejidos más radiotransparentes se producirán zonas oscuras, mientras que en correspondencia con los tejidos radiopacos se producirán zonas claras. A la derecha, una imagen lateral del tórax en la que se indican los puntos de referencia útiles en el diagnóstico radiológico. En la página anterior, una imagen xerográfica más sensible, sobre todo porque pone de manifiesto los tejidos blandos y las formaciones vasculares. Abajo, un diagrama que detalla los diversos factores que condicionan la perceptibilidad del detalle en la imagen radiográfica. No obstante, y a pesar del perfeccionamiento tecnológico, la interpretación de las placas radiográficas sigue siendo aún hoy en día una de las prácticas más complejas y más especializadas del diagnóstico médico.





requiere un examen extremadamente cuidadoso de las placas, cuya lectura puede, en algún caso, ser errónea, debido a dificultades intrínsecas o a la ejecución técnica de la placa.

Radiología terapéutica Distintas técnicas radiológicas han sido empleadas en el tratamiento de algunos procesos patológicos. Si bien los rayos X se utilizan a veces en el tratamiento de algunas afecciones, es, sin embargo, la forma de radiación conocida como *radiación gamma* la más ampliamente utilizada en el campo terapéutico. La diferencia entre este tipo de radiación y los rayos X es que, con el término de rayos X, nos referimos a la radiación inducida electrónicamente, mientras que, con el término de radiación gamma, nos referimos a la radiación emitida de forma natural.

Los rayos gamma —que tienen su origen en el decaimiento radiactivo de algunas sustancias naturales, como el cesio-137, el cobalto-60 y el yodo-131— poseen la tendencia a acelerar o a alterar el proceso de crecimiento celular. Si un haz de radiación gamma se dirige focalizadamente sobre un tumor puede destruir las células malignas sin provocar excesivos daños a las células de los tejidos sanos colindantes. Una compleja tecnología se ha desarrollado con el fin de administrar más adecuadamente la terapia radiactiva: cómo escoger los materiales, cómo determinar las dosis, cómo definir los tiempos de tratamiento y demás problemas. Se trata de una práctica extremadamente compleja que debe ser llevada a cabo sólo por personal altamente especializado y con aparatos muy sofisticados.

Véase **Isótopos; Medicina; Radioisótopos; Rayos X**

Raíz

La raíz es un órgano de las plantas que, generalmente, crece en sentido inverso al tallo y sirve para fijar la planta al sustrato y absorber las sustancias nutritivas y el agua.

Esta tendencia a crecer "hacia abajo" depende sobre todo de la gravedad, ya que la raíz presenta geotropismo positivo, aunque está también en relación con su comportamiento ante la luz (fotofobia) y con la atracción que la humedad ejerce sobre la raíz.

La profundidad a la que la raíz se introduce en el sustrato varía mucho según la especie de que se trate. Así, por ejemplo, las raíces de las acacias africanas de los desiertos penetran en la tierra hasta unos 15 metros en busca de la humedad que se acumula en las capas más profundas del suelo. Curiosamente, otras plantas también de desiertos y zonas áridas, como los cactus, tienen unas raíces muy poco profundas, pero muy extendidas en superficie para aprovechar al máximo el agua de las escasas lluvias en el mismo momento en que cae, ya que casi no penetra en el terreno y se evapora con rapidez debido a las altas temperaturas. En muchas plantas herbáceas, cuando en invierno la parte aérea queda reducida a la mínima expresión, apenas a unas pocas hojas basales, la raíz constituye la parte más voluminosa de la planta.

Aunque lo más frecuente es que el sustrato de las plantas sea la tierra, éste puede ser también otra planta —como ocurre en el caso de las epifitas, que crecen en las selvas ecuatoriales y enraízan directamente sobre los troncos de los árboles— o incluso masas de agua, en las que se introduce el aparato radicular de las plantas acuáticas, o de los cultivos hidropónicos, permaneciendo "a flote" su parte aérea.

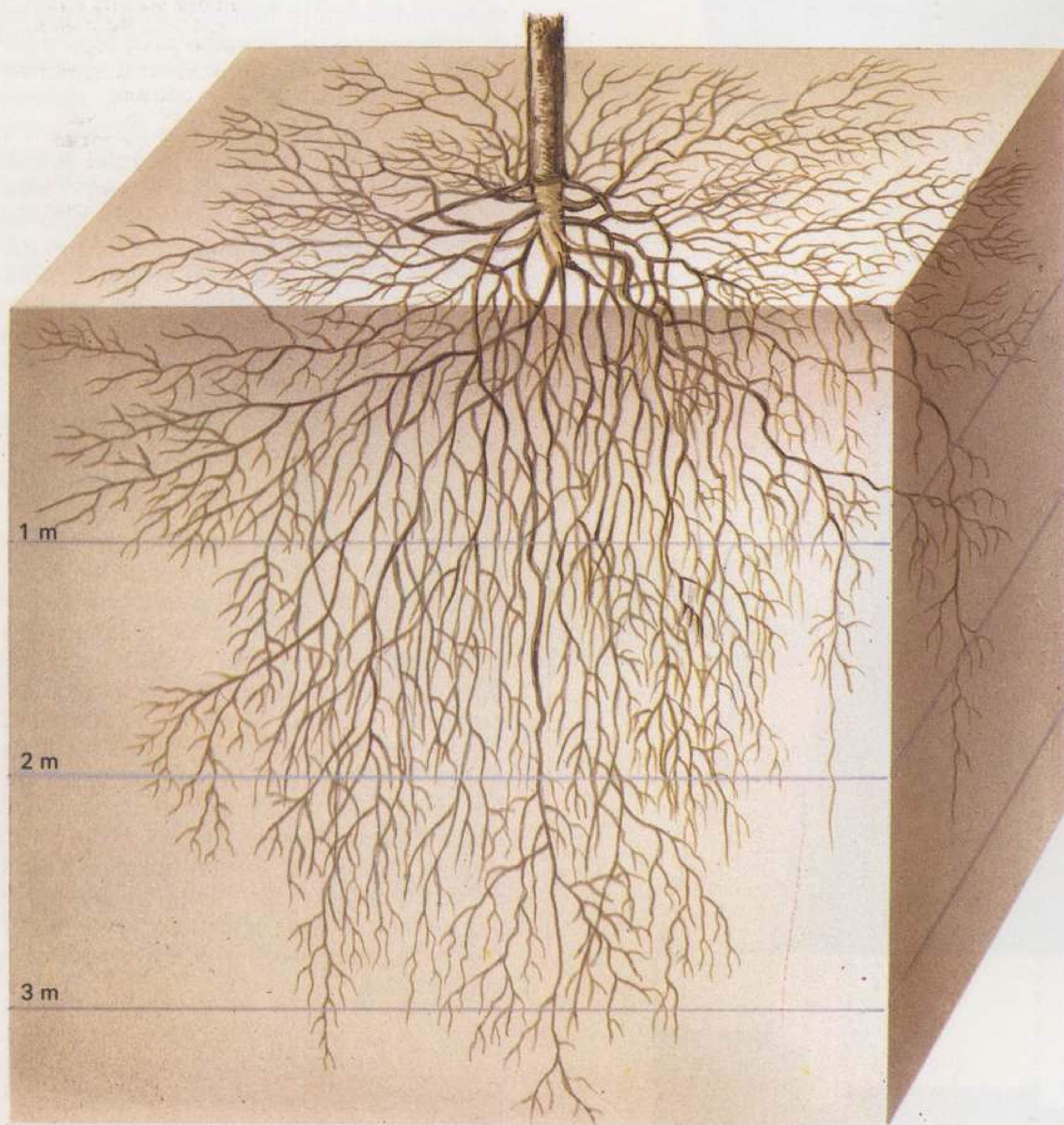
Sistemas radiculares La raíz típica presenta dos formas fundamentales: cuando existe un eje principal claramente preponderante, del cual arrancan las raíces secundarias, se habla entonces de raíces *axonomorfas*. Cuando la raíz principal se atrofia pronto, y es sustituida por un manojo de raíces secundarias de desarrollo semejante, se habla de raíces *fasciculares*.

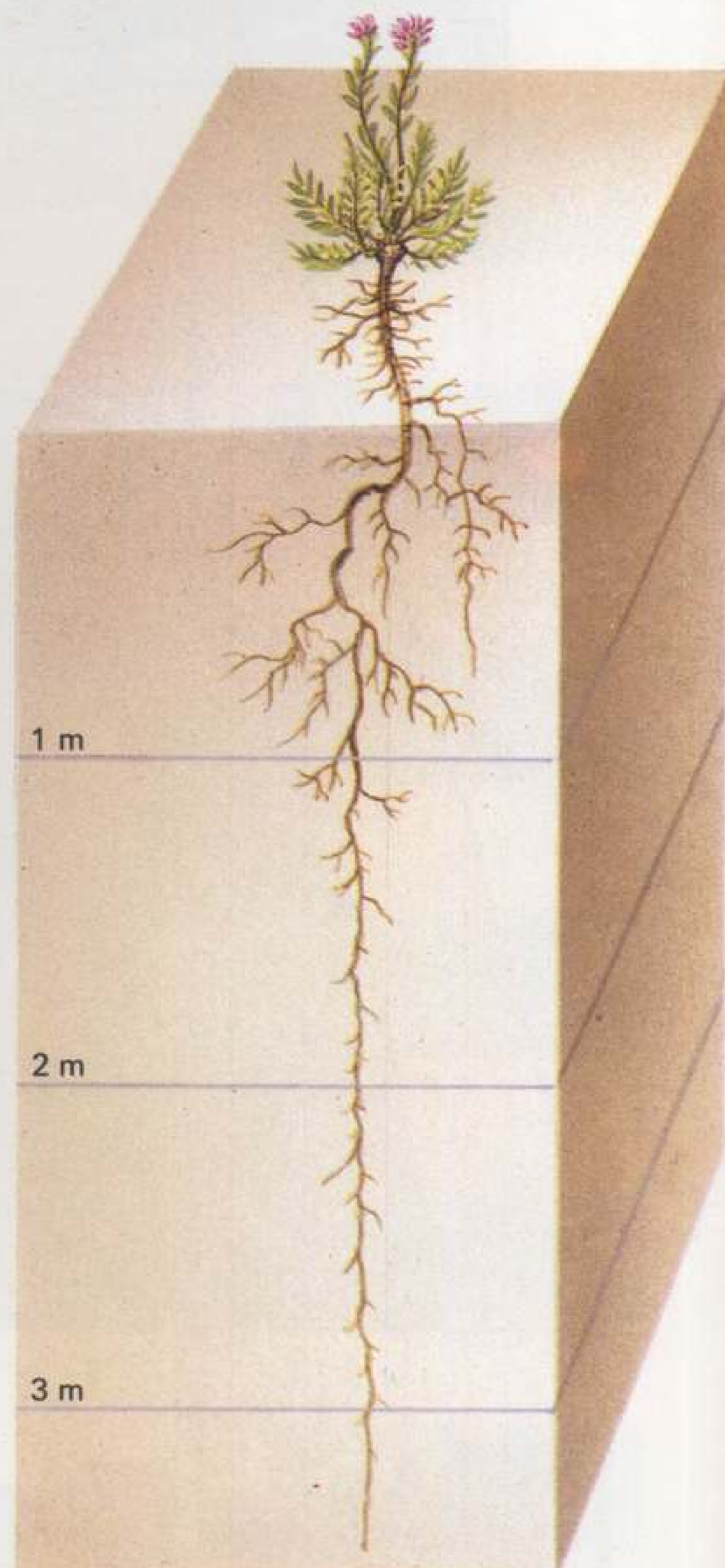
Además de estos dos tipos principales, existen otros, como, por ejemplo, raíces *napiformes*, cuando la raíz está considerablemente engrosada y tiene forma cónica, como la zanahoria; raíces *respiratorias* o *neumatóforos*, que presentan geotropismo negativo y crecen, erectas u oblicuas, de los suelos encharcados para tomar oxígeno del aire; raíces *adventicias*, que nacen de los tallos o ramas, como es el caso de las raíces adherentes de algunas plantas trepadoras; raíces *fúlcreas* o *zancos*, que sirven a ciertos árboles (como los mangles) para afianzarse al suelo pantanoso, etcétera.

Estructura de la raíz El ápice de la raíz, al igual que el del tallo, está formado por un conjunto de células meristemáticas que conservan su capacidad de dividirse continuamente. Son muy sensibles a los golpes y tienen la pared celular muy fina, por lo que necesitan protección. A diferencia de los ápices del tallo, que están protegidos por escamas, los de la raíz están cubiertos por una formación cilíndrica llamada *cofia* o *caliptra*. La cofia se va desgastando por la parte externa, pero sus tejidos se renuevan por dentro. Detrás de la cofia, la raíz posee un tramo cilíndrico y liso, al que sigue otro cubierto de pequeños pelos radicales, llamado *zona pilífera*. Los pelos radicales son finas prolongaciones de las células de la epidermis que aumentan la superficie de absorción de la raíz. La zona de unión de la raíz con el tallo se denomina *cuello*.

En el interior del cilindro central de la raíz se encuentran los haces fibrovasculares, a través de los cuales circulan las sustancias nutritivas y el agua, que van a parar a la parte aérea de la planta.

Véase **Nitrógeno; Planta; Suelo**





raíz principal

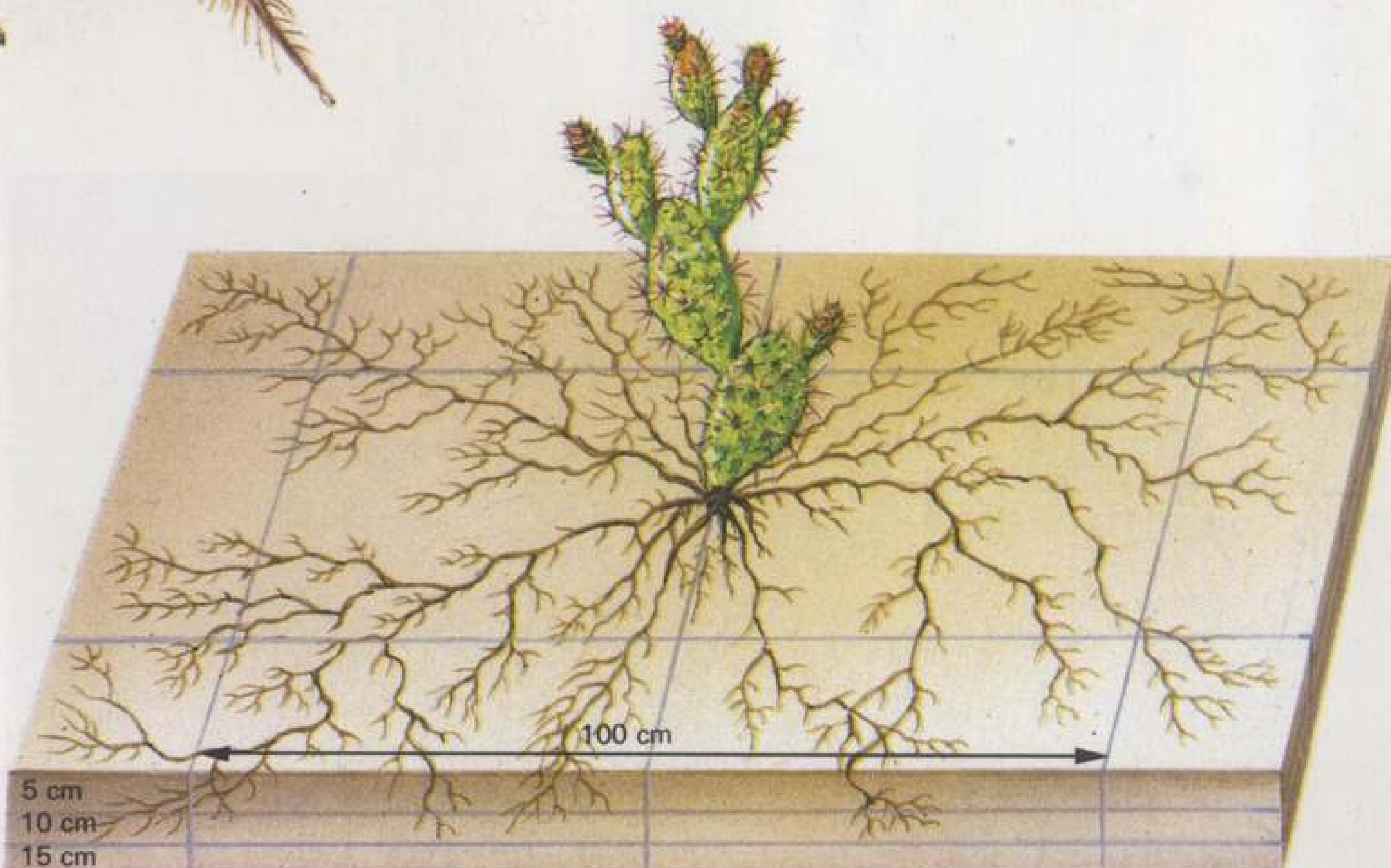
pelos radicales

raíces secundarias

cofia

pelos radicales

Junto a estas líneas, una raíz axonomorfa típica. Se puede observar las distintas partes: la raíz principal, las secundarias, los pelos radicales y la cofia o caliptra. En la página anterior y bajo estas líneas, esquemas que ilustran distintas formas de crecimiento del sistema radicular. En primer lugar, en la página anterior, a la izquierda, el sistema radicular de un manzano. Se observa que las raíces crecen tanto vertical como lateralmente; la extensión del crecimiento en ambas direcciones depende de la especie de la planta y de factores ambientales, tales como la estructura del suelo y su contenido en agua. A su derecha, una planta completa de astrágalo, una papilionácea típica de zonas áridas, en la que se aprecia la adaptación a ese ambiente, que se manifiesta por un fuerte crecimiento en profundidad y un escaso crecimiento lateral. El caso opuesto puede verse en el dibujo de una chumbera (bajo estas líneas): esta planta aprovecha la humedad de las lluvias ocasionales, y sus raíces se extienden ampliamente en sentido horizontal, pero su penetración en el suelo es muy escasa, apenas 10 cm.



Rampa de lanzamiento

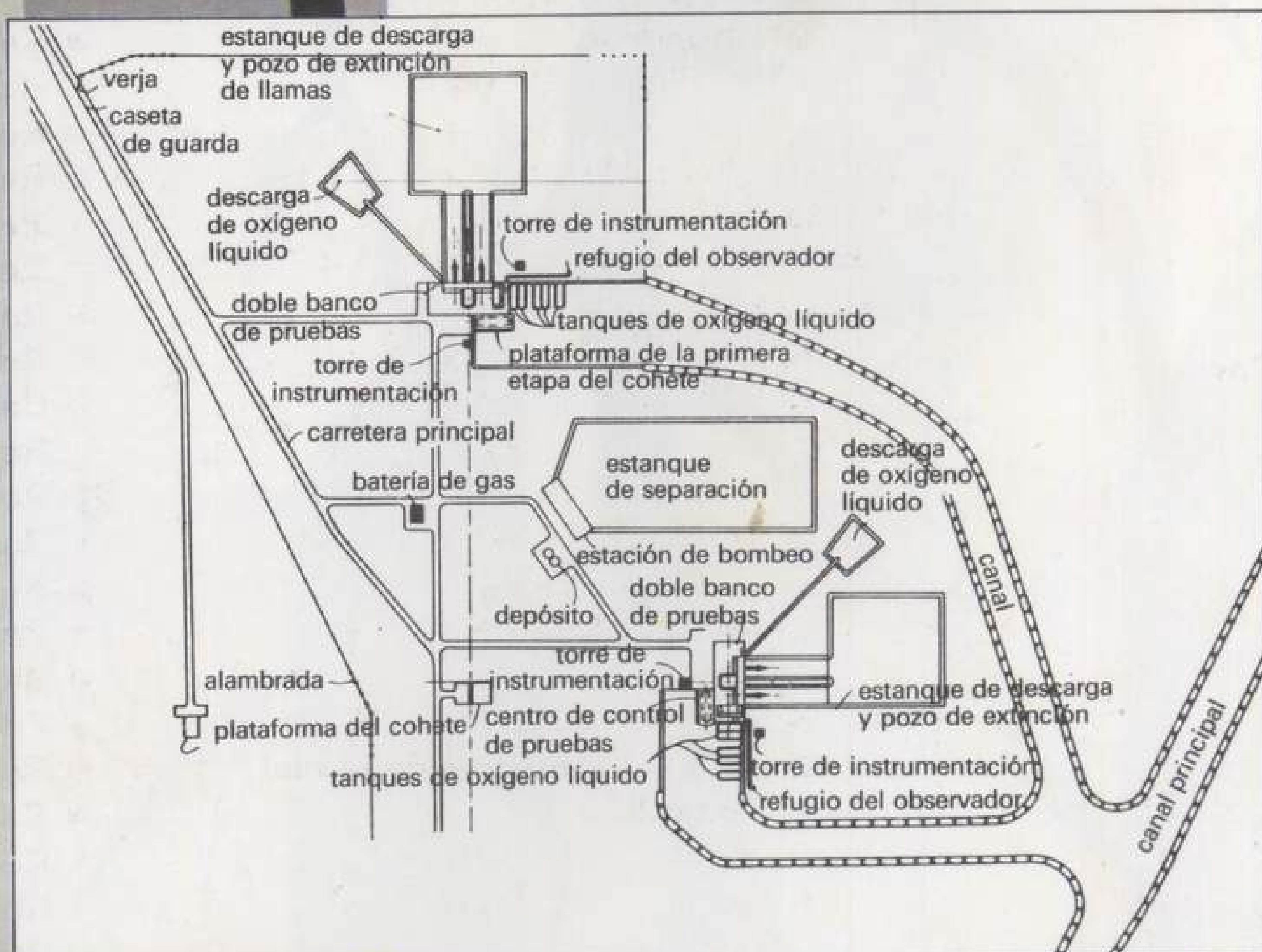
Un cohete dispuesto para despegar en su torre de lanzamiento representa la mayor concentración de energía en un espacio tan reducido que el hombre haya conseguido nunca reunir, excluyendo, naturalmente, la bomba atómica. En el interior del cuerpo del cohete se hallan almacenados los más potentes propelentes químicos que la ciencia moderna ha conseguido desarrollar: oxígeno líquido (LOX), hidrógeno líquido, ácido nítrico fumante y otras sustancias químicas con una potencia explosiva muy superior a la de la dinamita. Cuando esas sustancias son activadas, se libera un empuje equivalente a miles de toneladas, que se manifiesta como un torrente de fuego sobre el último lazo que une al cohete con la Tierra, su *rampa de lanzamiento*. Esta es como un *iceberg*, ya que la mayor parte de la misma se haya bajo la superficie.

Lo que un observador aprecia cuando se acerca a la zona de lanzamiento es simplemente una tosca estructura con gruesas paredes de hormigón. Su enorme masa y el gran espesor de sus paredes son indispensables para soportar no sólo el peso del cohete y de los equipos necesarios para su puesta a punto, sino también la inmensa presión que se ejercerá sobre ellos cuando los motores sean encendidos y el cohete comience a elevarse. Para que esto suceda, los motores han de generar un empuje enorme, mucho mayor que el peso del vehículo mismo. Sólo entonces, en ese instante extremadamente crítico, el cohete iniciará su ascenso; su velocidad irá incrementándose progresivamente a medida que el combustible se vaya quemando, hasta agotarse.

Un gran número de sistemas Por otro lado, todos los sistemas necesarios para garantizar el despegue son introducidos en el cohete a través de la torre.

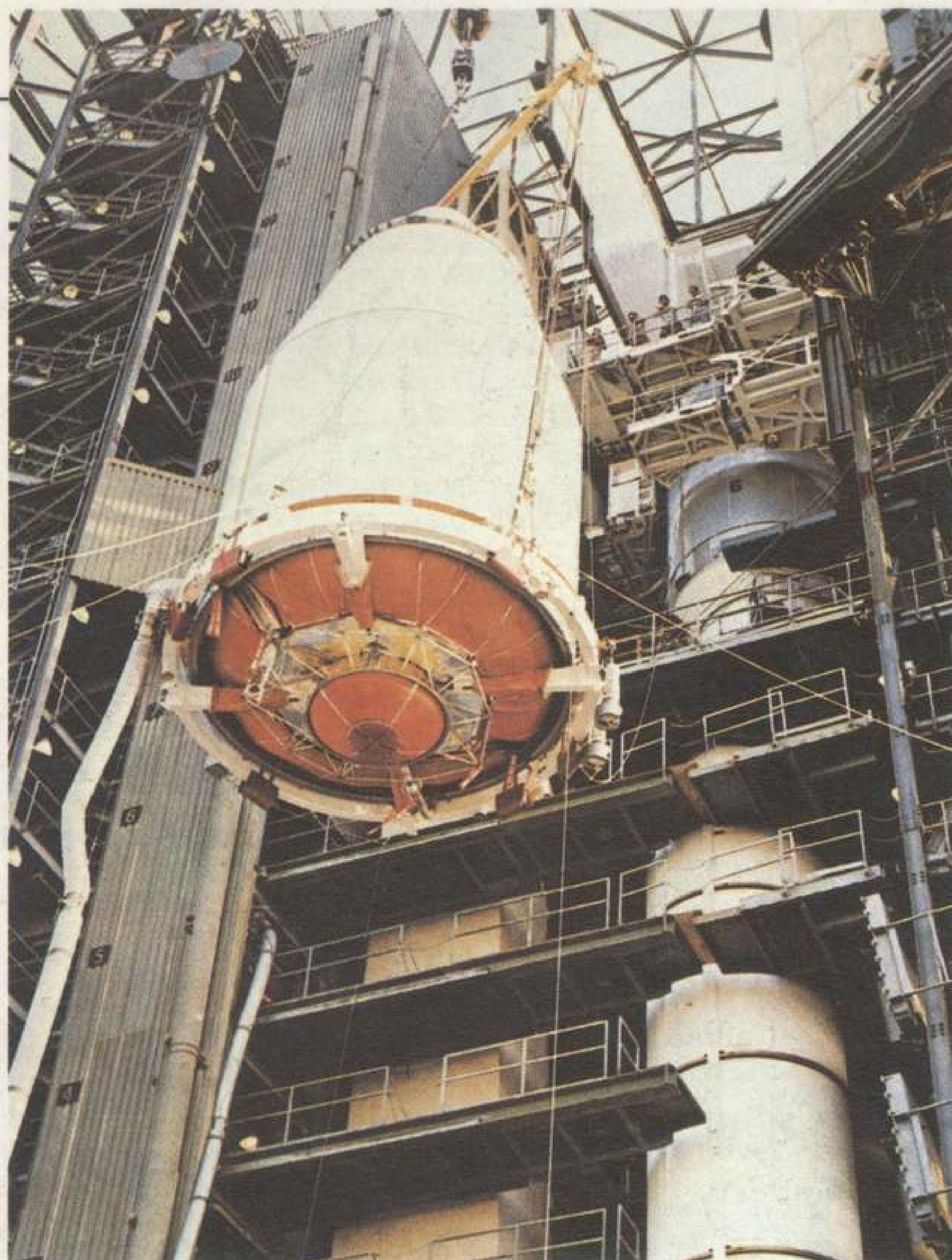
La rampa constituye el punto de montaje final del cohete y de abastecimiento de combustible, el lugar donde se llevan a cabo los cientos de controles necesarios antes de que se inicie la cuenta atrás y, finalmente, el lugar en el que se realiza esta última. La rampa es, en realidad, una extensión del centro de control de lanzamiento, que alberga al personal, los ordenadores, los enlaces por radio y todos los instrumentos necesarios para verificar las distintas operaciones de lanzamiento, hasta el momento del despegue.

Por motivos de seguridad, el centro de control se encuentra a más de un kilómetro y medio de la zona de lanzamiento. Un centro de lanzamiento puede estar conectado a la vez con distintas torres y controlarlas simultáneamente.



Las más extraordinarias aventuras espaciales han sido posibles, además de por la construcción de aeronaves y sistemas direccionales cada vez más perfectos, por la construcción de importantes rampas de lanzamiento. Su evolución ha exigido una constante renovación de los esquemas de construcción y de los materiales empleados, capaces de afrontar altísimas temperaturas y tensiones. Simultáneamente, también los sistemas de control han ido experimentando una rápida evolución, con la finalidad de permitir la ejecución de registros cada vez más eficaces. En el esquema sobre estas líneas se muestra la planta de una base de lanzamiento.

Junto a estas líneas, fase de ensamblaje. A la derecha, fase de lanzamiento del transbordador espacial estadounidense (*Space Shuttle*). Para el lanzamiento de estos vehículos espaciales, la NASA está construyendo una nueva zona de despegue en la que, dada su posición geográfica, será posible realizar lanzamientos orientados en la dirección norte-sur, así como los de sobrevuelo de grandes espacios oceánicos. Otro motivo que hace necesaria la construcción de nuevos centros es la intensificación de los lanzamientos de este tipo de aeronaves, prevista a corto y medio plazo. En el nuevo complejo de lanzamiento aparecen construcciones de grandes dimensiones, en las que se puede realizar la preparación, el almacenamiento, el posicionamiento vertical y el acoplamiento con los motores externos.





El tendido eléctrico, a efecto de su protección durante el despegue, se extiende bajo tierra, a lo largo de una red de canales subterráneos que llegan hasta la base misma de la rampa, desde donde se bifurcan las conexiones de acceso al cohete. Para la transferencia del combustible existe una tubería mediante la cual las operaciones de abastecimiento de combustible son dirigidas a distancia desde el centro de control; hay también un sistema de control ambiental, que suministra al vehículo aire limpio y filtrado, a la temperatura establecida, y un local con los terminales de cableado, que conecta al centro de control con todos los instrumentos situados en el interior del cohete, que serán desconectados en el instante inmediatamente anterior al lanzamiento.

El pozo de combustión Desde un extremo de la rampa, lo más alejado posible de la zona de combustión, un sistema de tuberías de hormigón conduce al pozo de combustión, hacia el cual pueden ser desviados los combustibles líquidos en caso de emergencia.

En la base misma del cohete se sitúan los deflectores de llama, que sirven para desviar el enorme torrente de fuego en las direcciones oportunas. Existe también un sistema hidráulico de alta presión, destinado a la refrigeración de la llamas y a evitar que se produzcan daños innecesarios en la torre.

Durante las fases finales de la puesta a punto del cohete se emplean dos torres, capaces de permitir un cómodo acceso al vehículo a través de varios montacargas. Una de estas, la grúa en trípode, constituye la estructura de servicio desde donde se llevan a cabo las operaciones de montaje final, las de control y cuenta atrás.

La otra, llamada "torre umbilical" por la analogía de sus funciones con las del cordón anatómico del mismo nombre, es la portadora de las conexiones finales para el cableado eléctrico, para las líneas de combustible y para otras conexiones con los sistemas de alimentación en Tierra. Esta torre constituye el último enlace del cohete con la Tierra. Cuando comienza la combustión, todas esas conexiones son automáticamente extraídas. La torre umbilical es alejada del cohete, y, al mismo tiempo que éste inicia su ascenso, es lentamente apoyada sobre el suelo.

Véase **Misil; Sonda espacial; Transbordador espacial**

La complejidad de las torres de lanzamiento ha ido aumentando progresivamente, con el fin de permitir el despegue de vehículos cada vez más pesados y sofisticados, en condiciones de máxima seguridad. Gracias a estas importantes mejoras, los vuelos espaciales han conseguido aumentar su frecuencia. La seguridad de estas torres ha quedado completamente comprobada en el transcurso de algunos accidentes de lanzamiento, que han podido resolverse sin graves consecuencias gracias a que los sistemas de control y protección han funcionado perfectamente, salvando así la vida tanto a las tripulaciones de las naves espaciales como a los técnicos y científicos que contemplan las distintas fases del lanzamiento desde el exterior.



Rayos X

Los rayos X fueron descubiertos casualmente en 1895, en el transcurso de unos experimentos que el físico alemán W. C. Roentgen realizaba con un tubo de rayos catódicos. Este aparato consiste en una ampolla de vidrio o tubo de descarga provisto de electrodos y conectado a una bomba de vacío. Si se aplica a los electrodos una diferencia de potencial de algunos miles de voltios y se conecta el dispositivo de vacío, llega un momento en que se produce una serie de descargas que van aumentando hasta llenar completamente el espacio entre los dos electrodos, y el tubo adquiere una luminosidad característica. Lo que sucede es un simple fenómeno de conductividad eléctrica, que aumenta cuando la presión del gas residual contenido en el tubo disminuye. Una observación detenida del fenómeno permitió descubrir la existencia de unos rayos que salían del cátodo (polo negativo) y que se denominaron rayos catódicos.

El 8 de noviembre de ese mismo año, mientras observaba esos rayos, Roentgen notó un resplandor procedente de una pantalla fluorescente cercana. La pantalla, que estaba cubierta de un material llamado platinocianuro de bario, irradiaba una extraña luminosidad, cuyo origen, según pudo observar, parecía estar relacionado con el tubo de rayos catódicos, a pesar de que ambos se encontraban separados por una gruesa mampara de cartón negro. En efecto, Roentgen pudo comprobar que la pantalla sólo resplandecía cuando el tubo de rayos entraba en funcionamiento. Posteriormente se supo que otros científicos habían observado resplandores similares, inexplicables, en las proximidades de otros tubos de rayos catódicos. Sin embargo, solamente Roentgen intentó establecer la naturaleza de estas radiaciones que se originaban en el tubo de rayos y que eran capaces de atravesar objetos y provocar la fluorescencia de ciertas sustancias. En los dos meses siguientes descubrió que los rayos podían excitar placas fotográficas de la misma forma que la luz normal. Los usó para fotografiar hasta su propia mano. Asombrado, descubrió que estos rayos podían atravesar la piel, pero no los huesos. Con este sistema se podía ver claramente la estructura ósea en las placas expuestas, como si se hubiera hecho una fotografía del esqueleto de una mano con una cámara fotográfica normal.

A principios de 1896, Roentgen envió copias de un folleto de diez páginas, donde describía estos rayos, a los científicos de toda Europa. Junto al folleto incluía algunas de las fotografías de rayos X que él mismo había realizado.

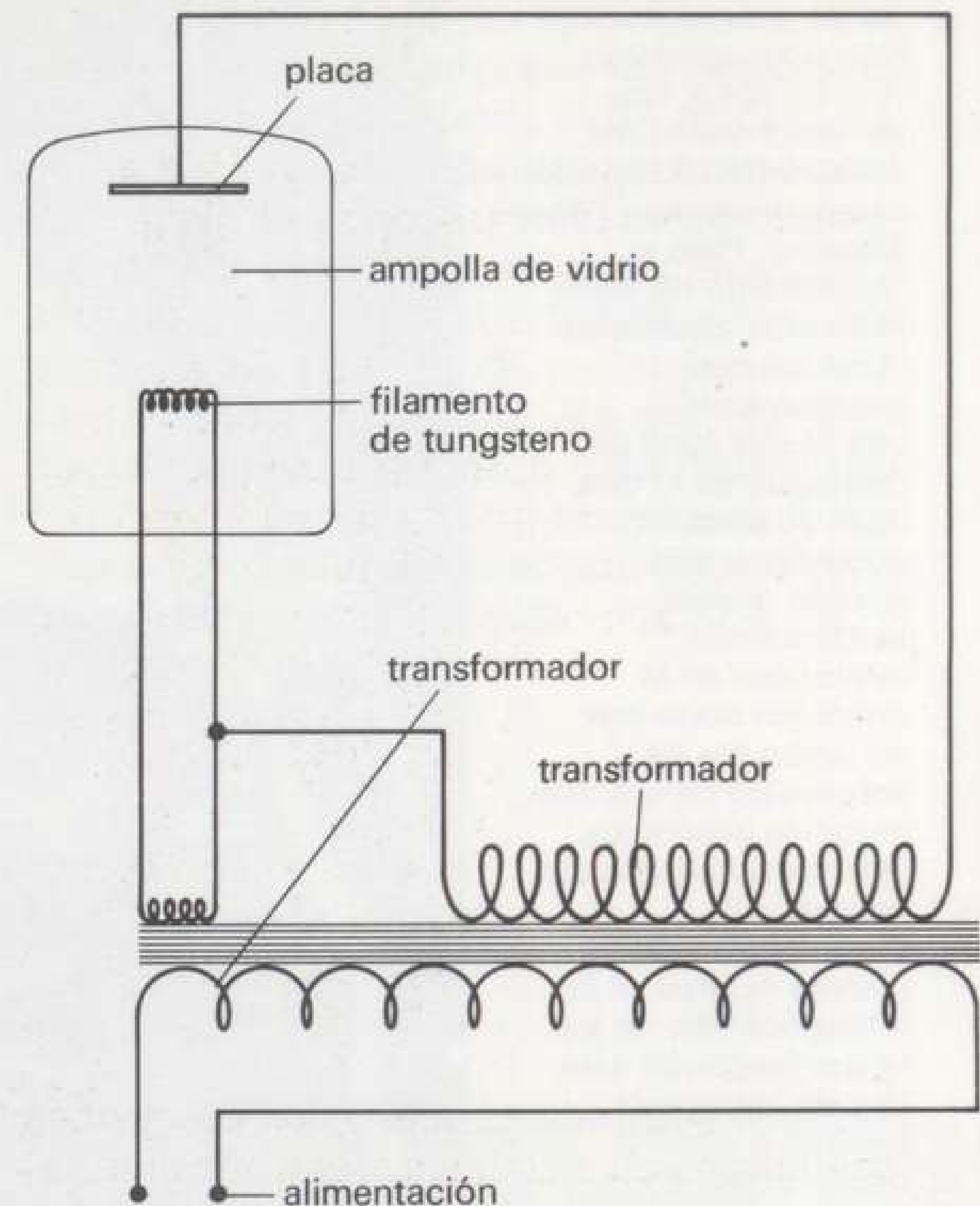
Aunque Roentgen había aprendido mucho sobre las propiedades y el poder de penetración de estos rayos, no tenía aún ninguna idea ni indicio sobre su naturaleza. Animado por la prudencia científica, se refirió a ellos llamándolos simplemente rayos X. Durante un cierto período de tiempo se intentó llamarlos rayos Roentgen en su honor, pero acabaron conservando su denominación original.

Posteriormente se descubrió que los rayos X son una forma altamente energética de radiación electromagnética. Las ondas electromagnéticas constituyen una forma de transmisión de la energía a través del espacio y son el resultado de la acción recíproca entre campos eléctricos y magnéticos variables, perpendiculares entre sí y con respecto a su dirección de propagación. Las ondas de radio, las microondas, la luz visible, las radiaciones ultravioleta e infrarroja son otros tipos de ondas electromagnéticas.

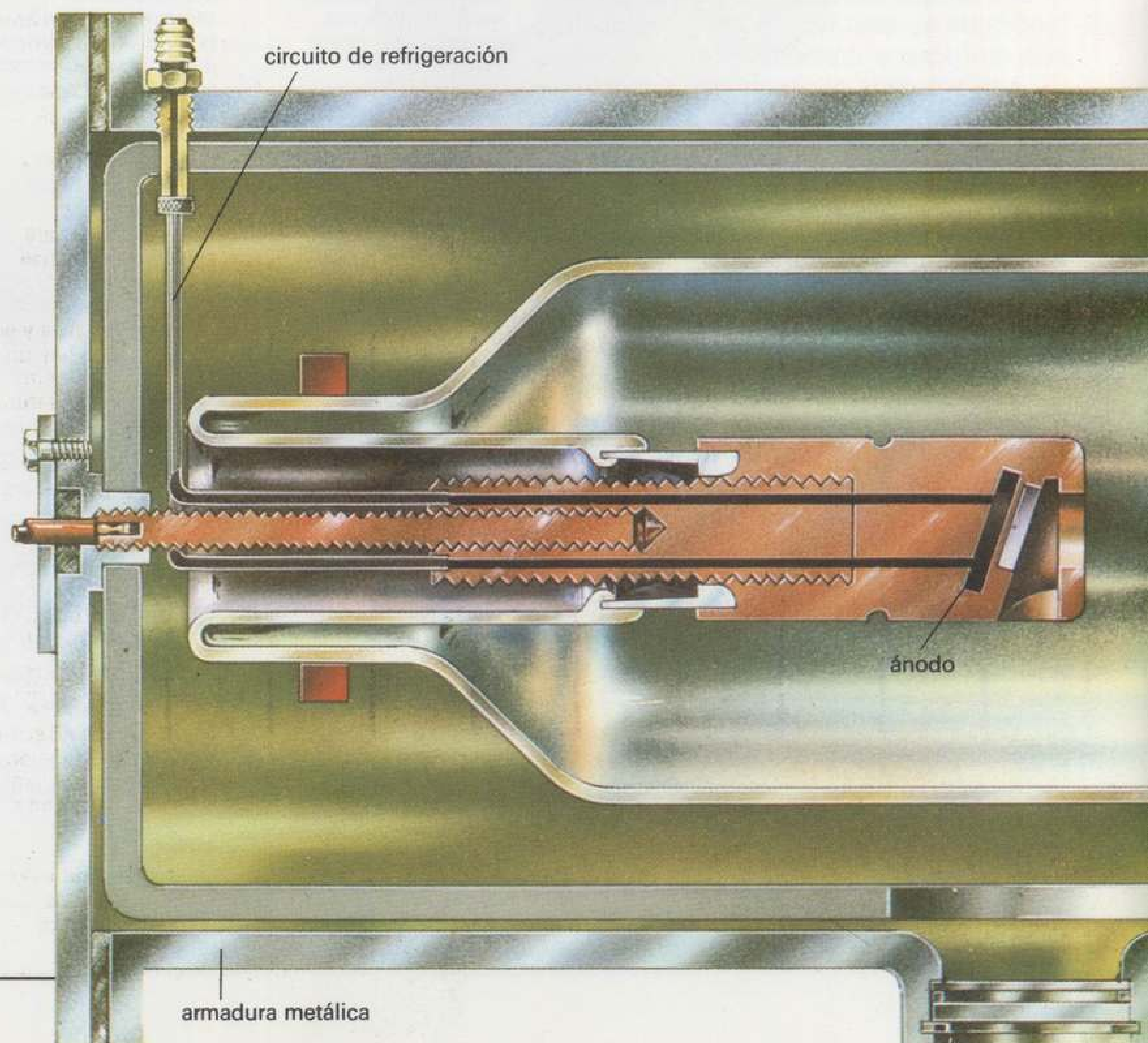
Emisión de rayos X La mayor parte de los átomos radiactivos y todas las estrellas (algunas, como las enanas blancas, las estrellas de neutrones y los agujeros negros, con especial intensidad) emiten rayos X. El estudio de las fuentes celestes de rayos X se conoce con el nombre de Astronomía de rayos X.

Para las aplicaciones prácticas en la Tierra, los rayos X se generan actualmente con una versión modernizada del tubo de rayos catódicos, llamado normalmente tubo de rayos X. Está formado por dos placas metálicas, llamadas electrodos, dentro de un tubo de cristal. Un flujo continuo de electrones sale del cátodo y llega al ánodo, cuyo choque produce los rayos X. Cuanto más alta es la energía de los electrones que alcanzan el blanco, más energía tienen los rayos X obtenidos.

Los rayos X de baja energía se conocen como rayos X blandos. Son los que se utilizan normalmente en diagnósticos médicos y en las radiografías. Los rayos X duros tienen una energía muy alta y se emplean generalmente en la terapia con radiaciones, así como en aplicaciones indus-



Arriba, dibujo esquemático de una válvula termoiónica. Está formada por una ampolla de vidrio con un filamento de tungsteno que se pone incandescente por el paso de una corriente eléctrica que proporciona el transformador. El filamento incandescente emite electrones que se dispersarían si no hubiera delante del filamento una placa metálica unida a una fuente de tensión alterna. Cuando los electrones alcanzan la placa metálica, experimentan un cambio brusco de velocidad, emitiendo una radiación X característica, llamada radiación de frenado. El tubo de rayos X se diferencia de la válvula termoiónica sólo por la alimentación, ya que la tensión alcanza valores cientos de veces superiores a los de la válvula termoiónica.



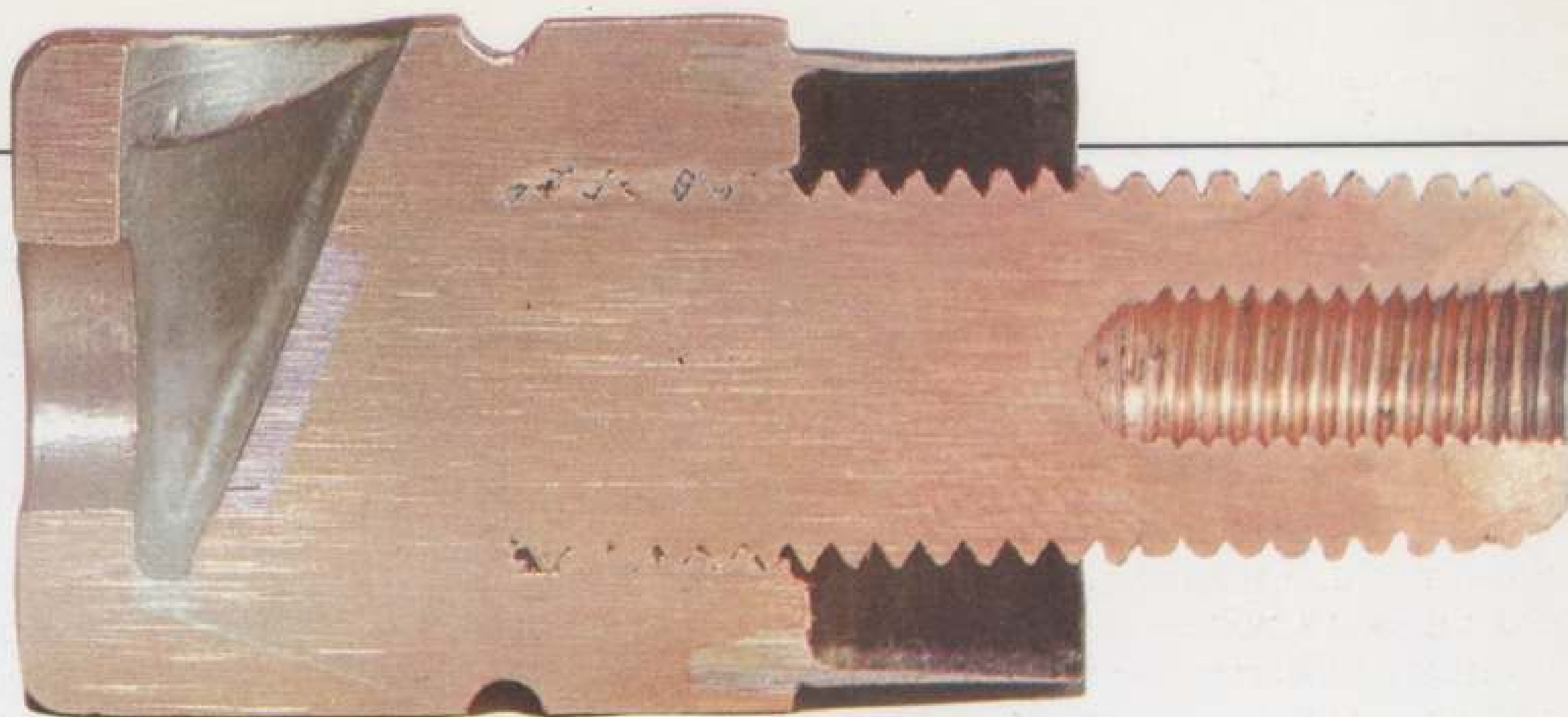
triales. Se utilizan máquinas construidas a propósito, llamadas *betatrones*, para generar los flujos de electrones de alta energía (acelerados) y obtener así rayos X duros cuando éstos chocan contra el blanco.

En estas colisiones de los electrones contra el blanco, los rayos X se producen por dos procesos. Cada uno de ellos necesita electrones de alta energía, obtenidos con el tubo de rayos catódicos o con el betatrón, que transforman su energía cinética (energía de movimiento) en energía de radiación. En el primero de los procesos, los electrones de alta velocidad desaceleran o incluso se paran completamente cuando chocan con los núcleos de los átomos de material que compone el blanco. La energía liberada durante este proceso se llama *Brehmsstrahlung*, que en alemán significa "radiación de frenado", y su emisión da lugar a un determinado tipo de rayos X.

En el segundo proceso, los electrones acelerados alcanzan los electrones fuertemente ligados al núcleo, sacándolos de los átomos del material que forma el blanco. La emisión de rayos X se produce cuando otros electrones caen en los niveles vacíos que han quedado, emitiendo energía durante el proceso. Cuando esto sucede, se producen rayos X de energía o energías específicas, que varían de acuerdo con la estructura electrónica de los diferentes materiales.

Aplicaciones de los rayos X La mayor parte de las aplicaciones de los rayos X se basa en su capacidad para atravesar los distintos materiales. Atraviesan fácilmente materiales como el papel, la madera y la piel, pero son absorbidos por materiales más densos, como los huesos y los metales. Por este motivo se pueden utilizar en medicina para fotografiar el interior del cuerpo. Los rayos X pasan a través de la piel y los tejidos más blandos y llegan hasta la placa fotográfica, impresionándola, o hasta una pantalla fluorescente. Cuando encuentran partes más densas del cuerpo, como los huesos, los rayos X no pasan. Los huesos fracturados o deformados, cuerpos extraños, cavidades y otros materiales densos pueden ser así descubiertos.

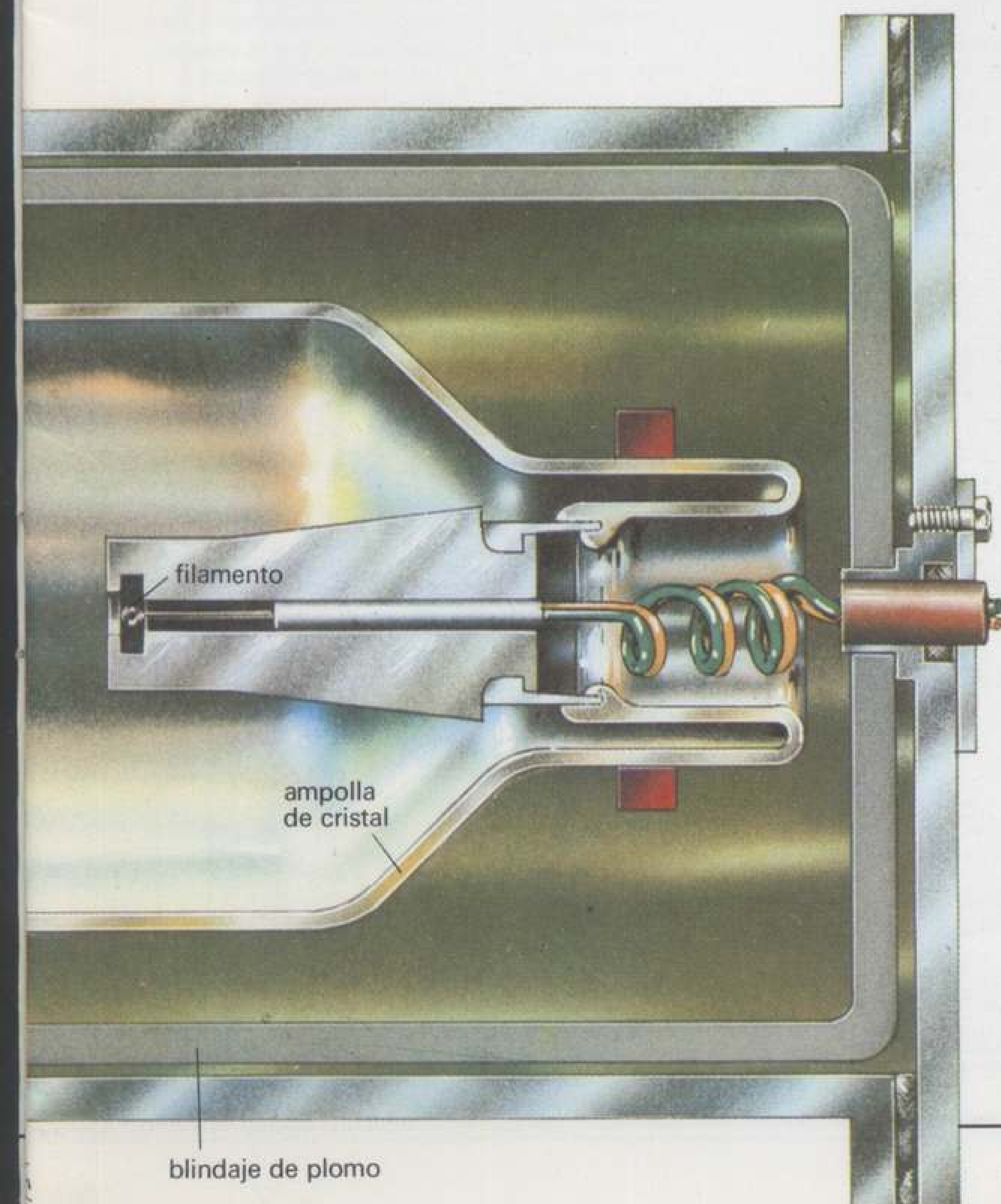
Algunas veces se suelen introducir en el cuerpo sustancias que son específicamente opacas al paso de los rayos X, con el fin de destacar ciertas zonas y poder así diagnosticar. A los enfermos del aparato digestivo se les suministra una suspensión de sulfato de bario en agua y leche, llamada normalmente "bario". Una foto con rayos X de esta parte del organismo reproducirá el contorno definido de estas zonas, ya que los pesados átomos de bario, material radiopaco, absorben totalmente la radiación.



Arriba vemos la sección del ánodo de un tubo de rayos X. Está formado por un bloque grueso de cobre, óptimo conductor térmico, que permite disipar mejor el calor que se produce por el choque de los electrones, tanto en un circuito de refrigeración con agua como si se deja simplemente disipar el calor por radiación. A la izquierda, el agujero por donde pasan los electrones, que irán a chocar contra la plaquita de tungsteno.







A la izquierda, un corte de un tubo de rayos X donde se puede observar la gruesa armadura metálica, prevista para protegerlo de las descargas de la tensión de alimentación y para aislar a quien lo use de la radiación X emitida. Entre la armadura metálica y el tubo de vidrio hay un baño de aceite para adaptar la temperatura del tubo y aislarlo eléctricamente, teniendo en cuenta que puede haber diferencias de potencial de hasta 300.000 voltios entre las paredes de la armadura y el cable de alimentación del cátodo. Sobre estas líneas, a la izquierda, el cátodo, donde se puede ver, a través del agujero, el filamento de tungsteno que emite electrones por efecto termoiónico. A la derecha, el filamento, formado por una espiral de tungsteno, de alto punto de fusión.



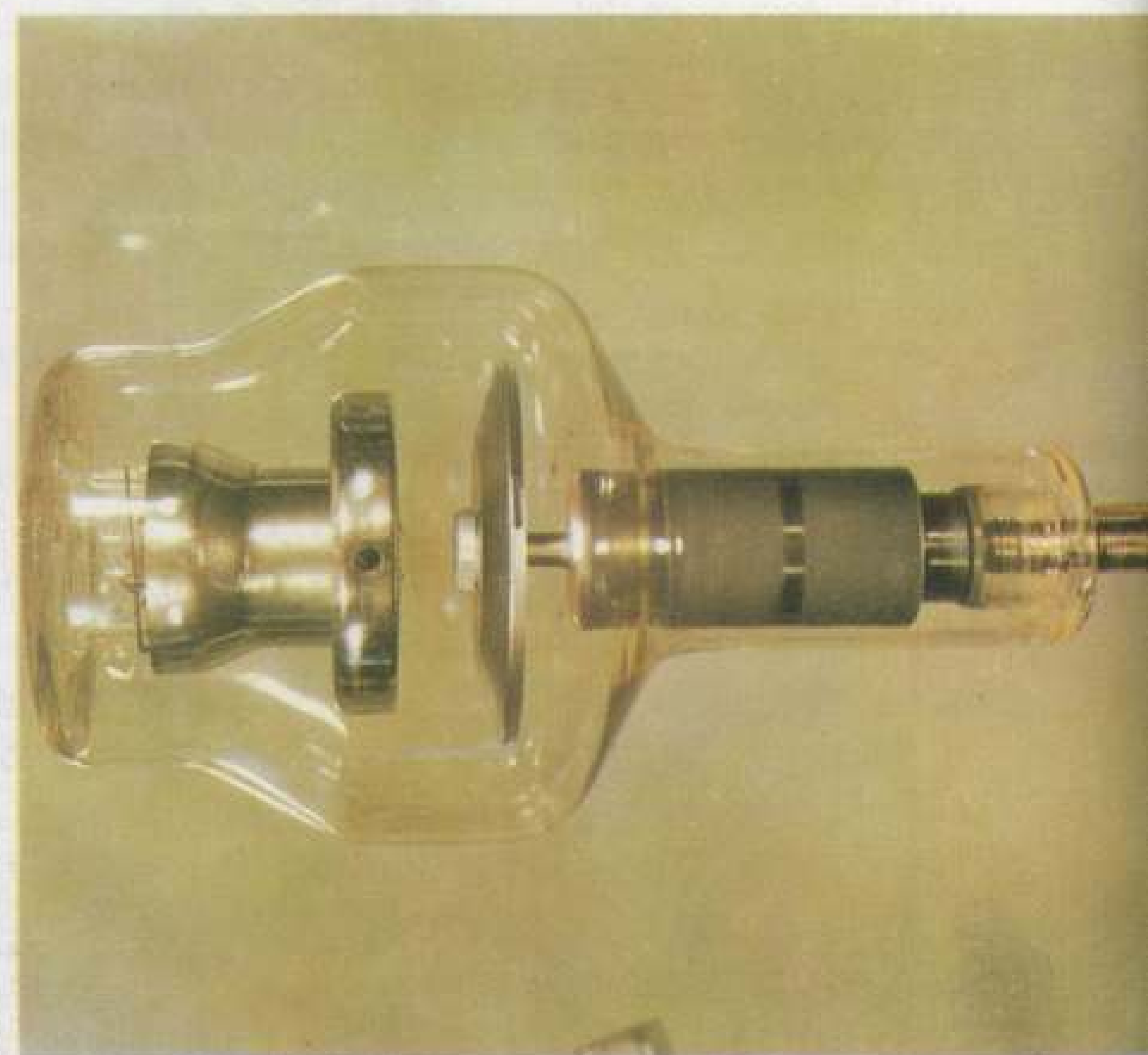
A la izquierda, un tubo para rayos X blandos. Al ser absorbidos por materiales de espesores pequeños, estos tubos presentan delante del anticátodo una ventana de berilio, en lugar de vidrio, ya que es menos absorbente y, en consecuencia, más transparente para los rayos X. A la derecha, un detalle de la ventana de berilio montada en un tubo para producción de rayos X blandos.





Arriba se puede ver un tubo de microenfoque para la producción de una fuente puntiforme de rayos X. Teóricamente es fácil de conseguir, porque es suficiente con hacer converger el haz de radiación sobre un área puntiforme del anticátodo. Sin embargo, la alta concentración del haz y el fuerte calor que se desarrollaría necesitan algunas precauciones para impedir que se funda el anticátodo. Este se construye de tungsteno, un material con el punto de fusión alto, cerca de los 3.500 °C. A la derecha, una fotografía del cátodo que se monta en los tubos de microenfoque.





Los rayos X se utilizan también para tratar el cáncer y otras enfermedades malignas, ya que las células enfermas suelen morir al ser sometidas a una exposición prolongada de esta radiación. A pesar de ello, el tratamiento con rayos X se debe emprender con cierta precaución, ya que los rayos pueden lesionar también las células sanas. El tratamiento con rayos X de partes profundas del organismo debe realizarse con rayos X duros, de alta energía.

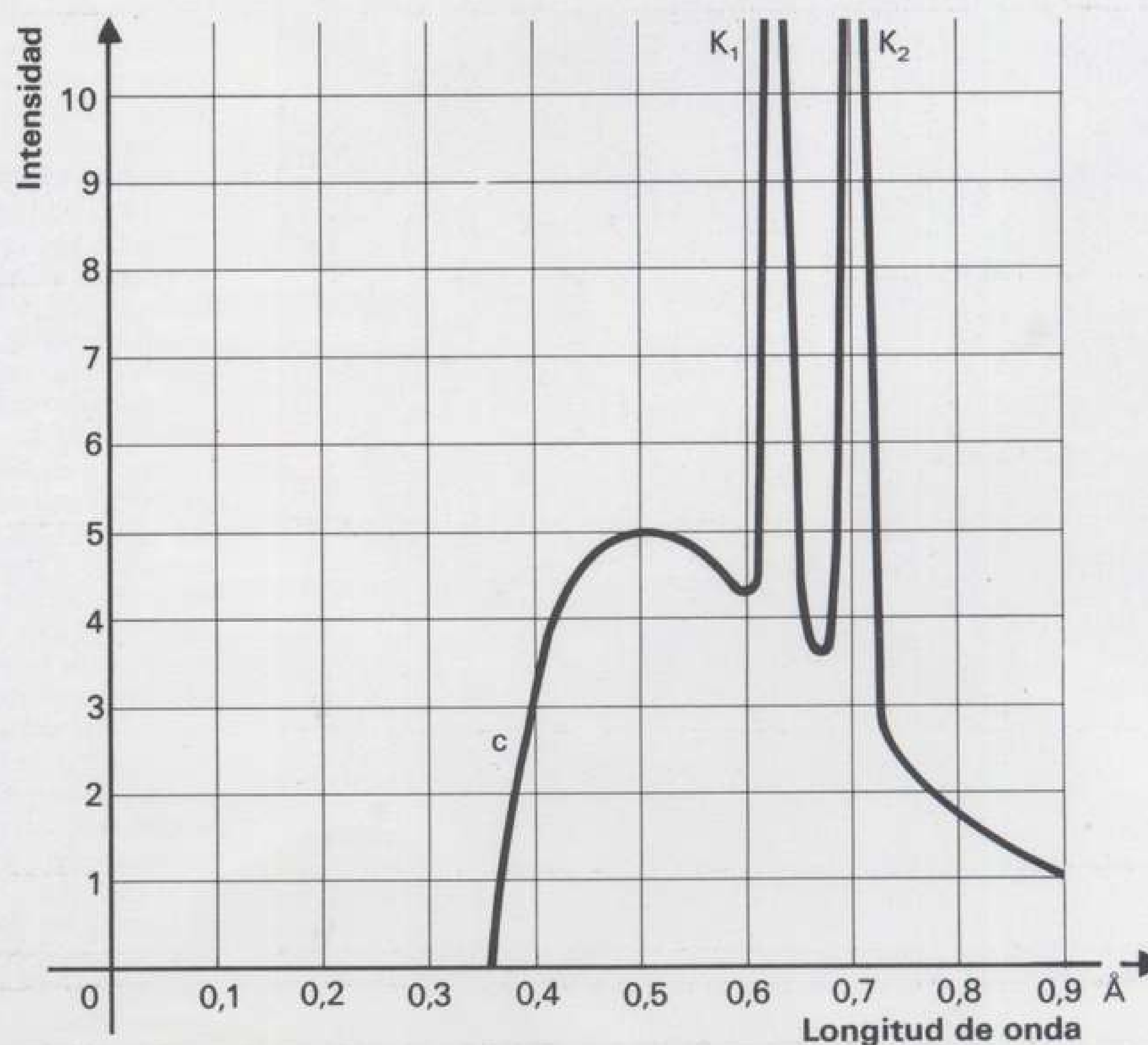
El poder de penetración de los rayos X tiene también aplicaciones prácticas en la ingeniería. Una imagen de rayos X de un trozo de metal detectará prácticamente cualquier defecto en su estructura. Al observar con rayos X el interior de una máquina se pueden detectar grietas internas y defectos, así como las causas de sus problemas de funcionamiento, ayudando, además, a prevenir posibles averías catastróficas.

La cristalografía hace también uso de esta radiación para determinar qué tipo de átomos hay en un cristal y cuál es su disposición. La estructura del ADN se empezó a descifrar mediante estudios de cristalografía con rayos X durante los años cuarenta y cincuenta.

Cuando se instituyó el premio Nobel en 1901, Roentgen fue el primero que lo recibió en Física.

Véase **Cristales y cristalografía; Electromagnetismo: Radiología; Tubo de rayos catódicos**

El tubo de rayos X emite radiación por medio de dos fenómenos: el frenado de los electrones y la fluorescencia. La radiación de frenado se produce cuando los electrones se frenan al chocar contra el anticátodo. Los átomos del anticátodo pueden absorber la radiación X producida de esta manera, emitiendo un electrón que se sustituirá por otro más externo. Al caer, éste emite energía de fluorescencia. En el diagrama de abajo, la forma del espectro de un tubo de rayos X: en abscisas, las longitudes de onda y, en ordenadas, las intensidades correspondientes. La curva c presenta dos picos K_1 y K_2 (radiación de fluorescencia). Arriba, un ejemplo de tubo de rayos X de anillo giratorio. Esta técnica permite que no se funda el anticátodo de tungsteno en la producción de una fuente puntiforme, ya que tiene simetría de revolución y gira con un micromotor eléctrico montado dentro del mismo tubo.



A nuestra derecha, una imagen del Sol tomada con un filtro especial que sólo permite el paso de los rayos X. En el diagrama de abajo se ilustra el efecto fotoeléctrico. El átomo se representa en el diagrama por sus niveles energéticos, mientras que los rayos X están representados por una coloración de intensidad decreciente con la energía de los fotones. A la izquierda, la materia interacciona con rayos X de energía superior a la energía de los electrones del nivel K. En este caso, la energía de los rayos X es suficiente para arrancar un electrón cualquiera del átomo, aunque, si el espesor de la materia atravesada es lo suficientemente pequeño, puede suceder que los rayos X lo atraviesen sin arrancar ningún electrón. En cambio, a la derecha, se muestra la situación en que la energía de la radiación X es más baja que la energía de enlace del nivel L, por lo que sólo se puede extraer electrones de los niveles superiores.

La energía de la radiación X es mayor que la energía de los electrones del nivel K

energía de enlace

K
L
M
N
O
P
Q

La energía de la radiación X es menor que la energía de enlace del nivel L

energía de enlace

K
L
M
N
O
P
Q

Rayos y pararrayos

El rayo es una descarga eléctrica que se produce en la atmósfera en zonas cargadas de electricidad estática y que va acompañada de una intensa luz (relámpago) y de un fuerte ruido (trueno). Los rayos se producen generalmente en las nubes de tormenta (cumulonimbos), aunque también se pueden producir durante tormentas de arena o de nieve, o en las nubes de gas procedentes de volcanes en erupción.

En el siglo XVIII varios científicos, entre los que se encontraba I. Newton, intuyeron características parecidas en los rayos y en las chispas producidas por la electricidad estática. Franklin realizó dos experimentos en 1850 (uno de ellos, el famoso experimento de la cometa), que demostraron que tal intuición era cierta.

Formación del rayo El rayo empieza a formarse con el proceso de separación entre partículas con carga positiva y partículas con carga negativa que se produce en las nubes. (Las partículas con carga eléctrica negativa tienen un número excesivo de electrones, mientras que las partículas con carga eléctrica positiva tienen un número insuficiente de electrones). Aún hoy no se conoce exahustivamente cómo se separan las cargas eléctricas en las nubes: a pesar de los recientes esfuerzos realizados en laboratorios y las investigaciones llevadas a cabo con aviones meteorológicos, todavía existen numerosas dudas. Las dificultades para reproducir en un laboratorio fenómenos con las características de una tormenta son enormes y el muestreo realizado por los aviones no tiene suficiente representatividad, ya que los datos que puede recoger un avión recorriendo en zig-zag las decenas de kilómetros cúbicos ocupados por la tormenta durante su vida media —que es de aproximadamente una hora— son insuficientes para reproducir la evolución eléctrica del fenómeno.

Cada nube de tormenta se compone de unas cuantas nubes más pequeñas, o *células*, que actúan como generadores eléctricos como resultado de las poderosas corrientes de aire que se desarrollan en su interior. Una célula puede cargar una nube con una tensión de hasta 50 millones de voltios sobre el potencial de la Tierra.

En la mayor parte de las nubes de tormenta las partículas positivas se acumulan en la parte superior, mientras que las negativas, a distancias de varios kilómetros, se acumulan en la parte inferior. Cuando esta separación crea un potencial eléctrico capaz de superar la resistencia del aire que separa ambas partes, se produce el rayo en el interior de la nube, entre zonas con carga opuesta de nubes distintas o entre una nube y tierra.

En 1978 algunos físicos de la John Hopkins University expusieron una teoría según la cual es necesario un proceso desencadenante para que se produzca un rayo. Este proceso puede tener origen en la radiación cósmica que, procedente del Sol, atraviesa la nube. El rayo, que parece generarse en un instante, está formado en realidad por una serie de procesos. Comienza con una descarga guía, una pista luminosa de electrones que se mueve desde la nube hacia el suelo (hacia otra nube o hacia una parte de la misma nube), ramificándose durante su recorrido. Cuando una de las ramas de una guía se encuentra a unos 100 metros del suelo, otras guías ascendentes, o *flámulas*, se levantan del suelo para salir a su encuentro. Al tocarse las dos corrientes, el aire que rodea la zona se ioniza y la carga negativa se desploma sobre el suelo, estableciéndose después la descarga principal o *golpe de retorno*. La descarga guía se mueve según una serie de pasos, de unos 50 m cada uno, con pausas de 50 microsegundos entre cada paso.

El golpe de retorno está formado por un impulso de corriente muy alta, unos 20.000 amperios, que asciende por el canal de la guía. El golpe de retorno es muy brillante y el trueno que produce está caracterizado por un estallido nítido y seco debido a la rápida expansión de la columna de aire intensamente calentado: la descarga eléctrica calienta el aire instantáneamente a una temperatura altísima, produciendo su expansión, que provoca ondas de choque causantes de la fortísima explosión del trueno.

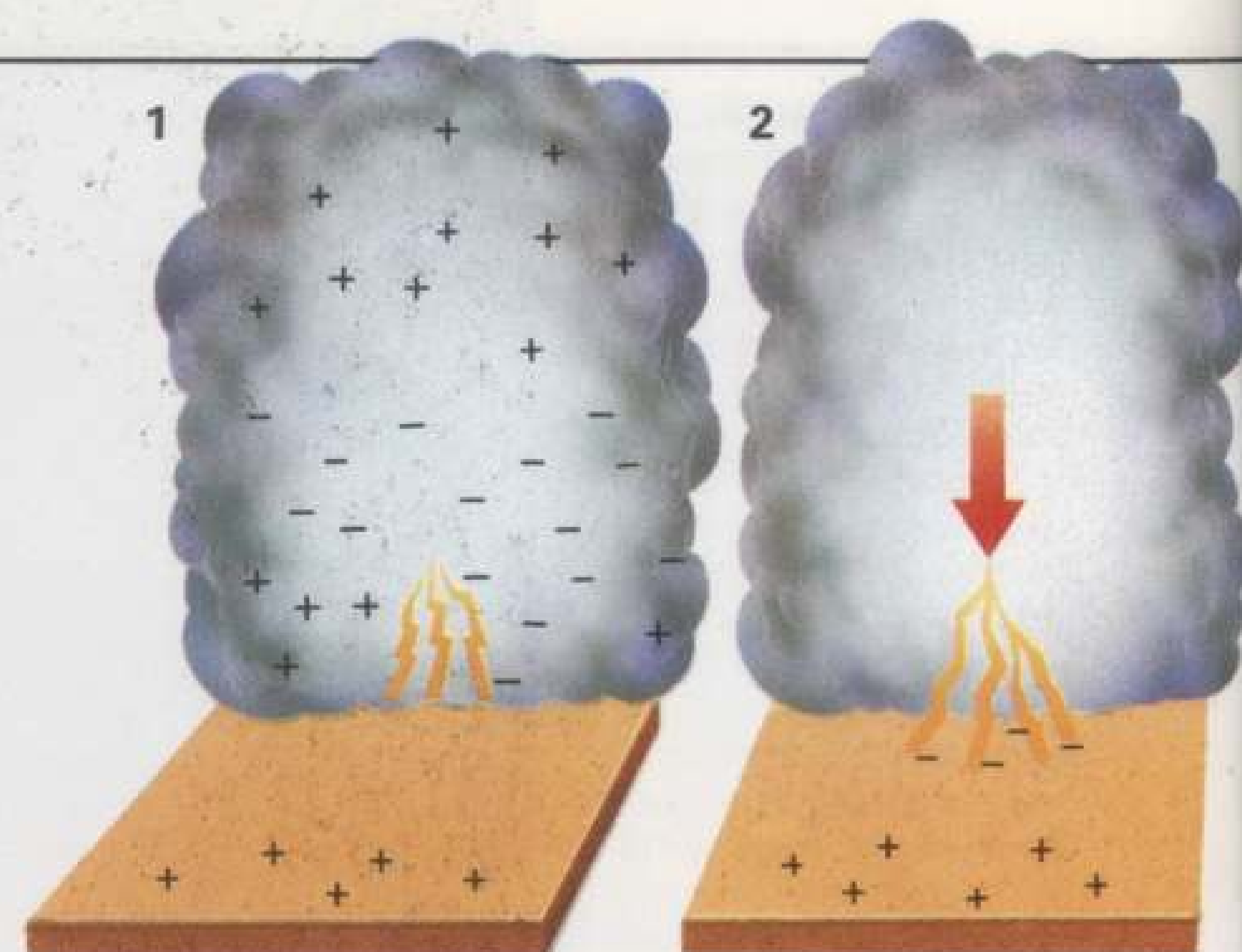
Invención del pararrayos Después de demostrar que el rayo es una forma de electricidad, Benjamin Franklin sugirió que la instalación de varillas de metal acabadas en punta en la parte más alta de los edificios, unidas con cables gruesos a tierra, haría que cualquier rayo que cayera en la zona alcanzara la varilla y pasara por el cable, descargándose a tierra sin dañar la estructura. Franklin se dio cuenta de que, normalmente, los rayos que caen de una nube al suelo buscan el punto más alto de los existentes en la zona. Como el pararrayos está situado en el punto más alto y está construido con metal, que tiene poca resistencia eléctrica y, por tanto, es buen conductor, el rayo tiende a dirigirse hacia él.

La zona de protección del pararrayos está dentro de un cono imaginario que tiene por vértice la punta del pararrayos y como base en el suelo un círculo de radio igual a la altura del pararrayos. No obstante, el radio de atracción no es constante, sino que depende de la carga eléctrica de la guía del rayo. Para un rayo de potencia media y estructuras no superiores a 60 m, el radio de atracción de un pararrayos es de unos 30 metros.

La instalación de los conductores de descenso está regida, principalmente, por consideraciones mecánicas y de corrosión, y no por su capacidad de transporte de corriente, pues, aunque la corriente de un rayo pueda ser muy elevada, suele ser de tan corta duración que no se produce calentamiento importante.

Una buena toma de tierra es esencial para una conveniente disipación de la elevada intensidad de un rayo. El terminal de tierra suele consistir en una o más varillas metálicas hundidas en el suelo. Sin embargo, incluso con una buena toma de tierra son necesarias otras precauciones, como conectar los conductores de descenso a todos los servicios metálicos del interior de los edificios (tubos de instalación eléctrica, tuberías de agua, etcétera).

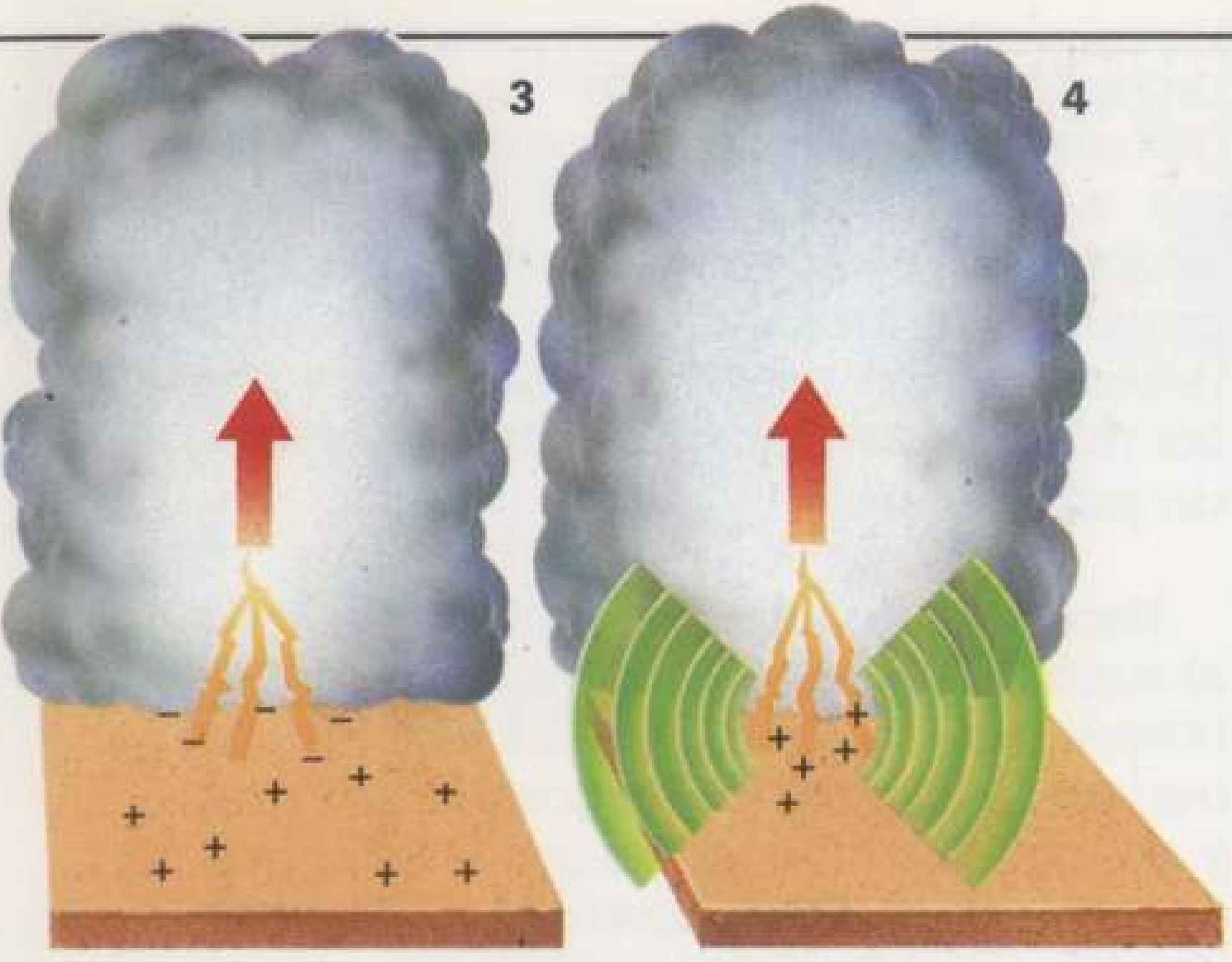
Los pararrayos no desprenden suficiente carga para evitar los rayos ni para influir en su producción, su único cometido es interceptar los rayos y disipar, sin daños, su corriente en la tierra.



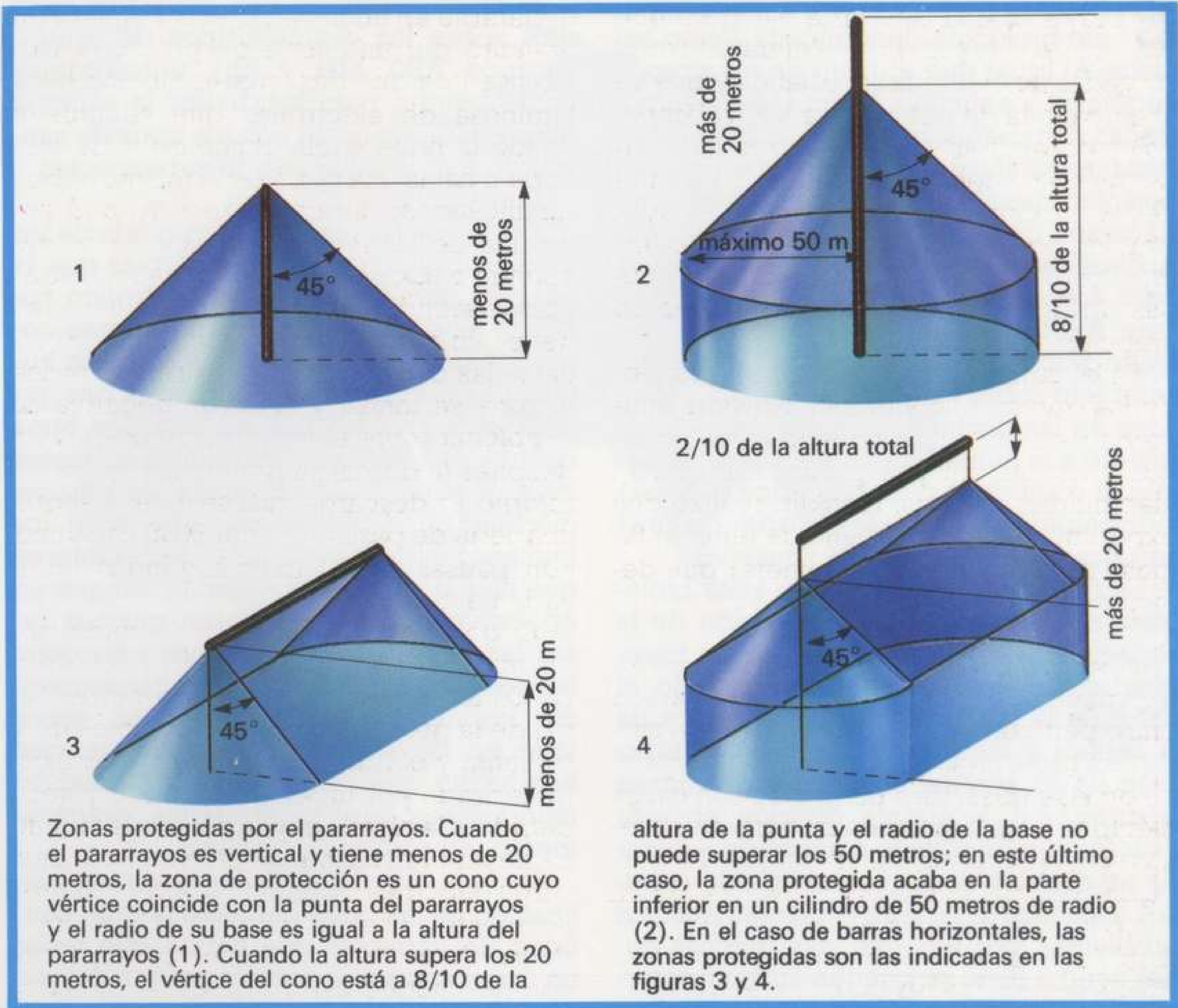
Véase **Electricidad; Toma de tierra; Tormenta**



Gary Ladd



En una nube de tormenta las cargas eléctricas se distribuyen de forma que la parte alta de la nube tiene carga positiva y la parte baja carga negativa, con algunas zonas pequeñas con carga positiva. Cuando el campo eléctrico en la nube alcanza la intensidad necesaria para la formación de la descarga hacia tierra, del interior de la parte baja de la nube surge una descarga guía (1) relativamente pequeña que crea una especie de canal en el aire por el que se dirigen hacia tierra sus ramificaciones (2); sigue la violenta descarga principal o golpe de retorno, provocado por las cargas que se habían condensado por inducción de la nube sobre la superficie de la tierra (3). Al final se escucha en toda la zona el trueno (4). Debajo, espectacular tormenta de rayos sobre el observatorio de Kitt Peak.



Zonas protegidas por el pararrayos. Cuando el pararrayos es vertical y tiene menos de 20 metros, la zona de protección es un cono cuyo vértice coincide con la punta del pararrayos y el radio de su base es igual a la altura del pararrayos (1). Cuando la altura supera los 20 metros, el vértice del cono está a 8/10 de la altura de la punta y el radio de la base no puede superar los 50 metros; en este último caso, la zona protegida acaba en la parte inferior en un cilindro de 50 metros de radio (2). En el caso de barras horizontales, las zonas protegidas son las indicadas en las figuras 3 y 4.

Razas humanas

El hombre pertenece a una única especie biológica denominada *Homo sapiens*. Al igual que el resto de los grupos vegetales y animales, las poblaciones humanas se pueden dividir en subespecies, razas geográficas o simplemente *razas*. El botánico sueco Linneo ya incluyó una clasificación de las razas humanas dentro de su clasificación general de los organismos, pero fue el médico alemán Johann Blumen-Bach, padre de la Antropología, quien publicó en 1775 el primer estudio completo sobre las razas humanas. Basándose en las distintas medidas del cráneo, dividió a la humanidad en cinco razas según el color de la piel: caucásica (blanca), mongoloide (amarilla), etíope (negra), americana (roja) y malaya (marrón).

La raza, desde el punto de vista biológico, es ante todo una subdivisión de la especie humana basada en rasgos hereditarios visibles, como el tipo de pelo, el color de la piel, la forma de la cara y de la cabeza y las proporciones del cuerpo. Pero no es posible establecer divisiones tajantes. Así, la simple división en raza caucásica, mongoloide o negroide —basada en el color de la piel, el tipo de cabellos y los rasgos faciales— plantea muchos problemas: por ejemplo, hay muchas dudas acerca de si se pueden atribuir determinadas características a los aborígenes de América y de Japón o a la población dravídica del sur de la India.

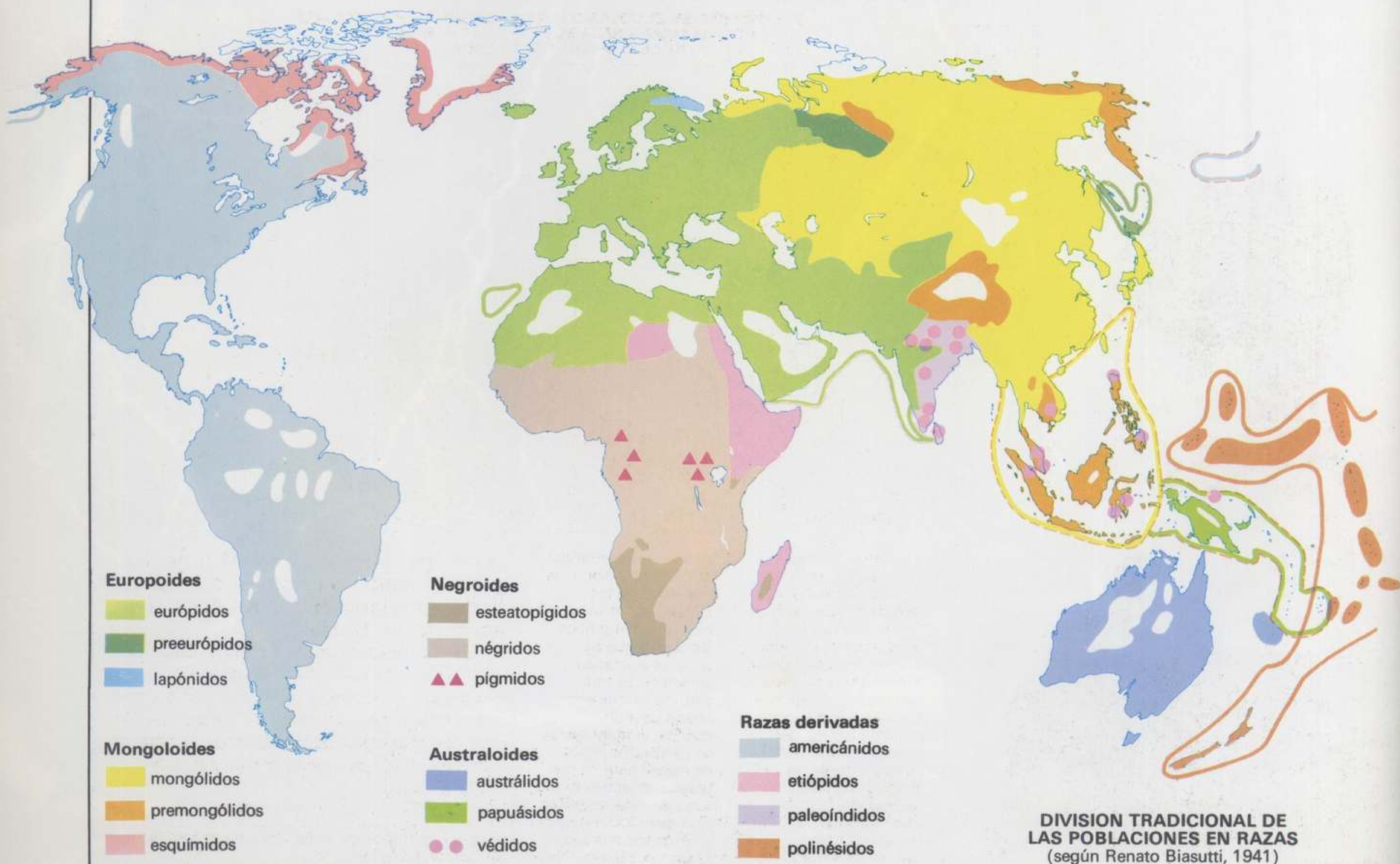
Recientemente se han realizado estudios sobre los distintos tipos de sangre (grupos AB0, MN y Rh), utilizándolos como criterio para subdividir la especie humana. De acuerdo con los tipos de sangre, se han identificado 13 subespecies.

Origen de las razas La mayoría de los especialistas coinciden en afirmar que la especie humana ha tenido un tronco común y que la diferenciación en razas comenzó bastante tarde en la evolución humana y fue el resultado de mutaciones genéticas motivadas por los distintos tipos de adaptación a unos ambientes naturales muy dispares. Esto explicaría las escasas diferencias genéticas que hay entre los humanos y el gran número de caracteres que tienen en común. Además, aunque en épocas pasadas se formaron muchas razas, las migraciones, invasiones y conquistas posteriores tuvieron como consecuencia importante mezclas raciales, sobre todo en las poblaciones contiguas, que han hecho que actualmente la población mundial sea muy heterogénea, prácticamente imposible de clasificar.

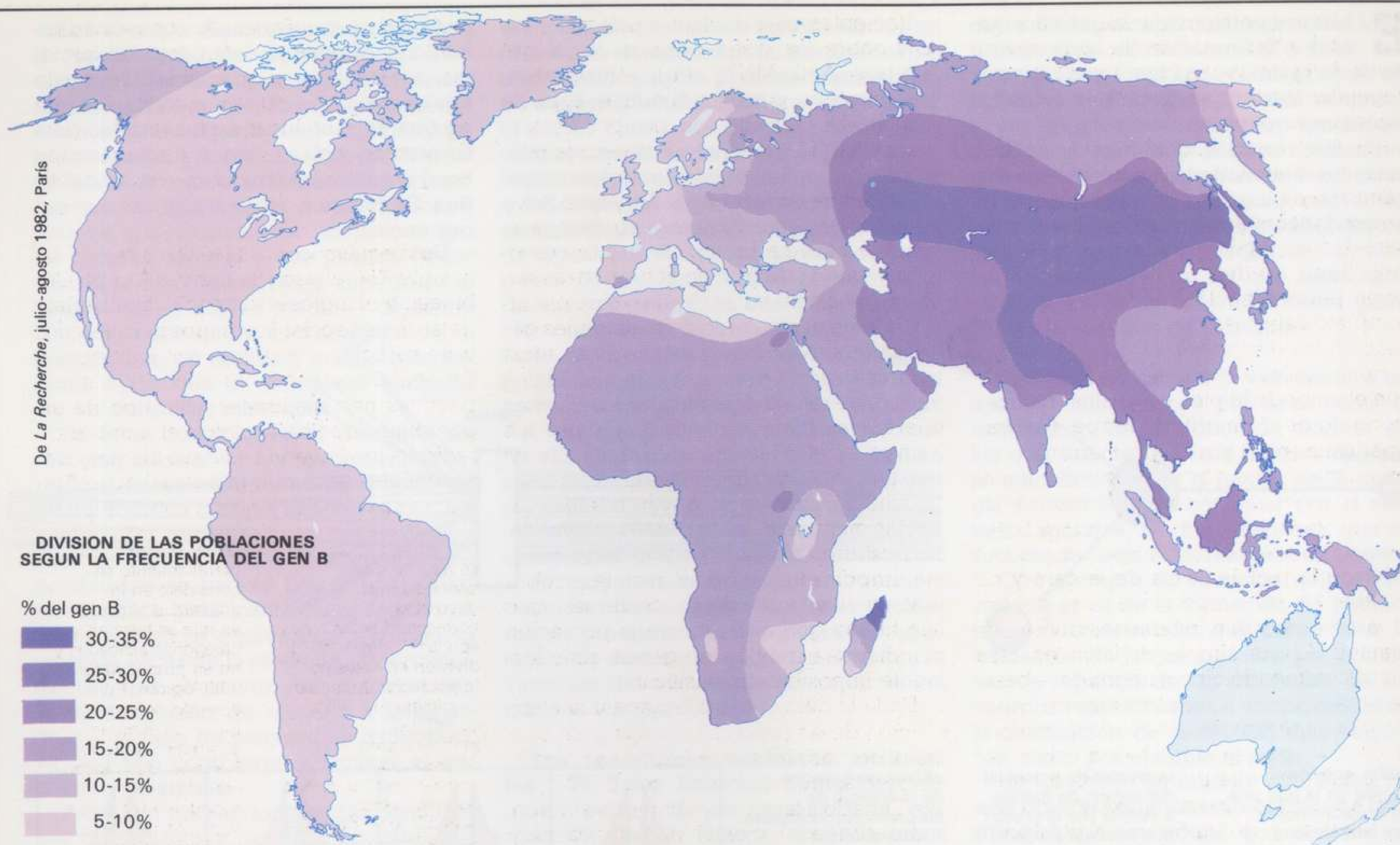
Dada la dificultad de llegar a una clasificación de las razas debido a la gran cantidad de variables que habría que tener en cuenta, muchos sociólogos y biólogos han llegado a la conclusión de que la raza, como concepto científico, significa muy poco. Los biólogos prefieren definir las características genéticas de los individuos humanos independientemente de las razas, y los antropólogos hablan de *etnias*, adoptando parámetros culturales de comportamiento, en lugar de los raciales, para determinar de qué forma han aparecido las diferencias entre los distintos grupos de poblaciones.

Usos equivocados del término raza En el siglo XIX, el escritor francés Joseph Gobineau y el inglés Houston S. Chamberlain trataron de asociar los rasgos psicológicos y de carácter a las razas, con la intención de demostrar la superioridad de sus respectivas nacionalidades. Este tipo de argumentos, que ha recibido el nombre de *racismo*, fue llevado hasta sus últimas consecuencias en la doctrina racial de la Alemania nazi, con la persecución genocida

En estos dos mapas se reflejan dos concepciones diferentes, correspondientes a dos épocas distintas, de la división en razas de la población humana; la primera, de 1941, sintetiza el planteamiento de entonces, generalmente aceptado por geógrafos y antropólogos, de basar la división en razas en las características físicas externas. Este planteamiento se considera en la actualidad superado, ya que se basa en categorías acabadas y no en grupos naturales y biológicos. Por ejemplo, se ha visto que si se intentan clasificar los grupos humanos de acuerdo con el grupo sanguíneo (mapa de la página siguiente), la división es bien distinta.



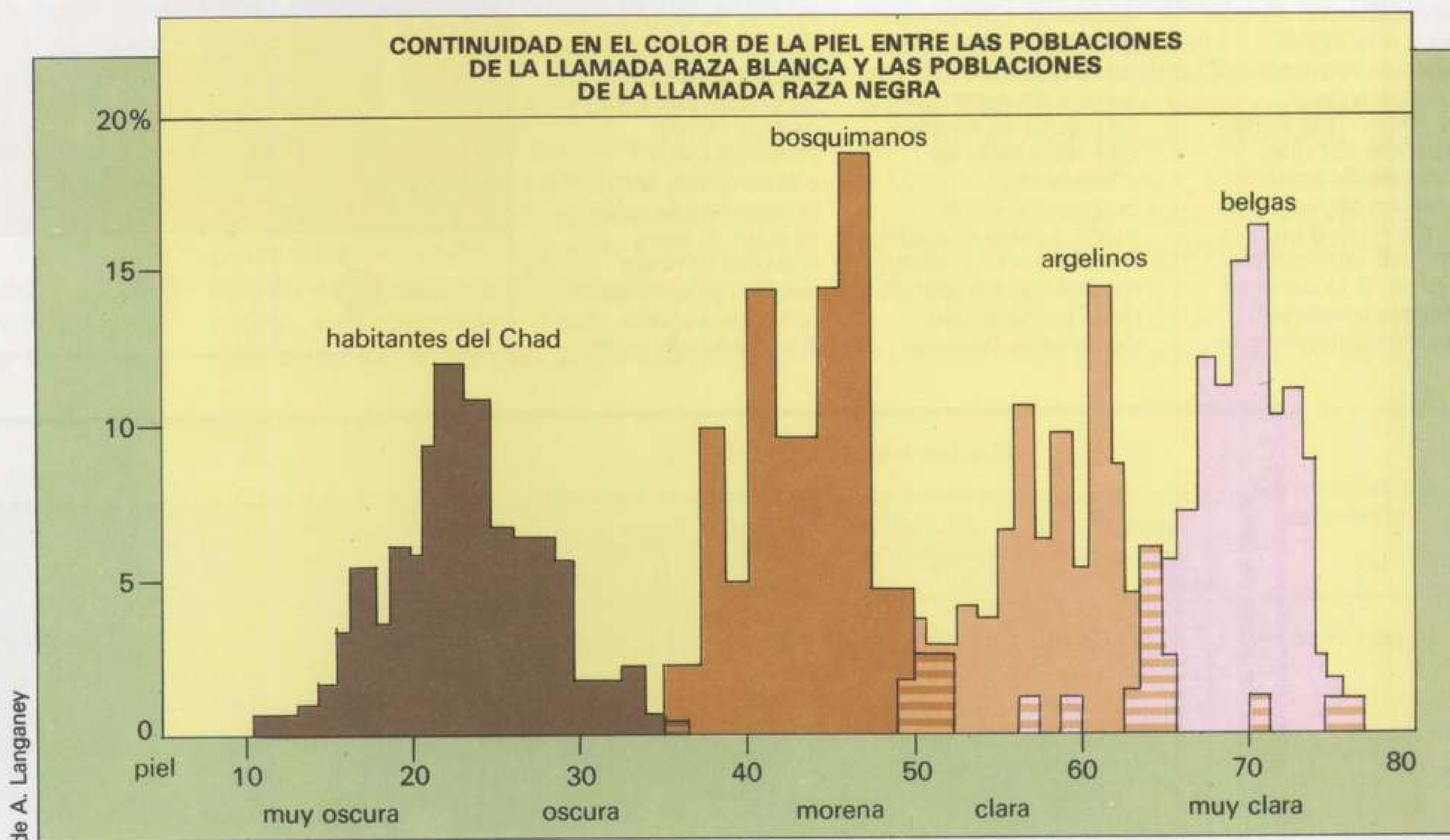
DIVISION TRADICIONAL DE LAS POBLACIONES EN RAZAS
(según Renato Biasutti, 1941)



De *La Recherche*, julio-agosto 1982, París

DIVISION DE LAS POBLACIONES SEGUN LA FRECUENCIA DEL GEN B





de A. Langaney

En este gráfico se toma como base el color de la piel para demostrar que no hay saltos, sino un paso gradual entre el color oscuro de la piel de los africanos (la muestra son los habitantes del Chad) y el color claro de los europeos del norte (como muestra se han tomado los belgas). Se puede ver que los belgas más morenos son menos blancos que los argelinos más claros, y los argelinos más oscuros son más oscuros que los bosquimanos más claros (en el gráfico las zonas que se solapan aparecen rayadas). La mujer ainú de la izquierda añade un dato convincente en contra de la división rígida en razas: tiene la piel blanca, mientras que sus ojos son rasgados y su pelo liso y negro. ¿Pertenece a la raza blanca o a la amarilla?

contra los judíos y gitanos. El racismo sigue aún siendo el fundamento de las políticas de segregación racial, como la del *apartheid* de Sudáfrica.

En los últimos años no ha habido dos científicos que se hayan puesto de acuerdo sobre el número de razas que existen o los criterios que podrían definirlas. Según las distintas clasificaciones, existe un mínimo de tres razas y un máximo de treinta y dos.

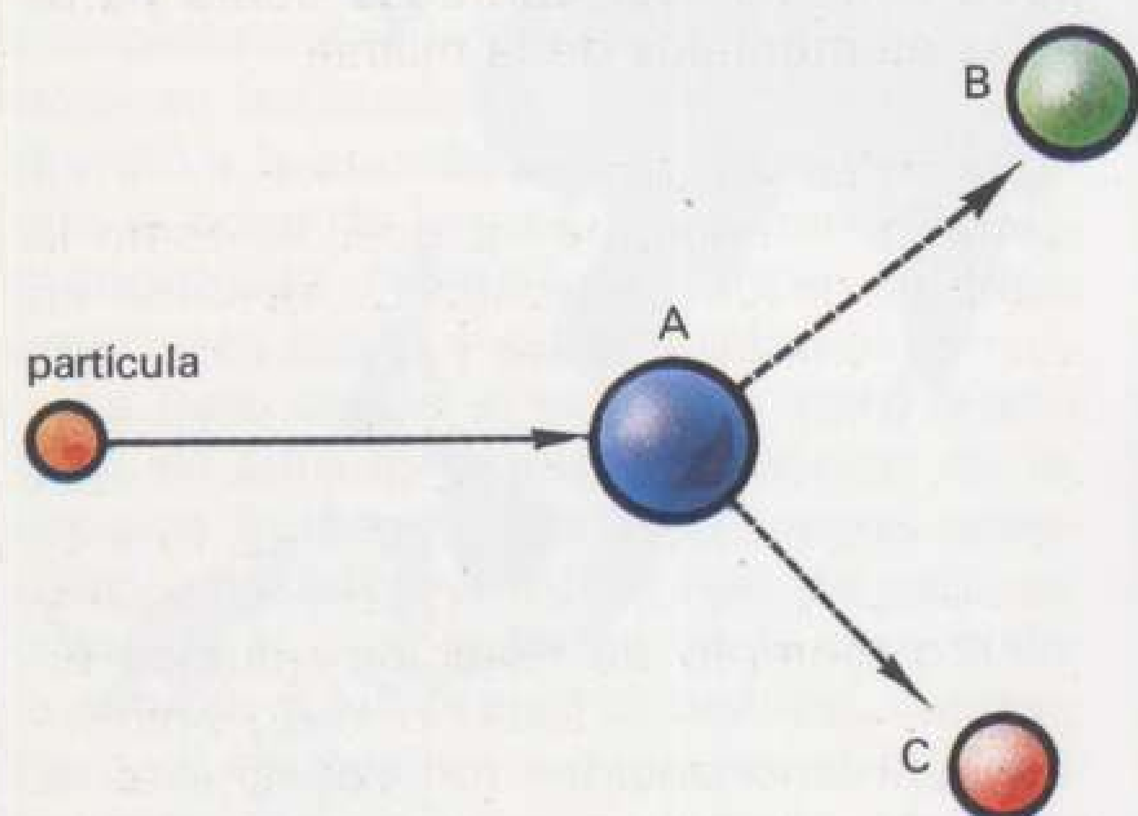
Véase **Antropología cultural; Antropología física; Evolución humana; Hombre**

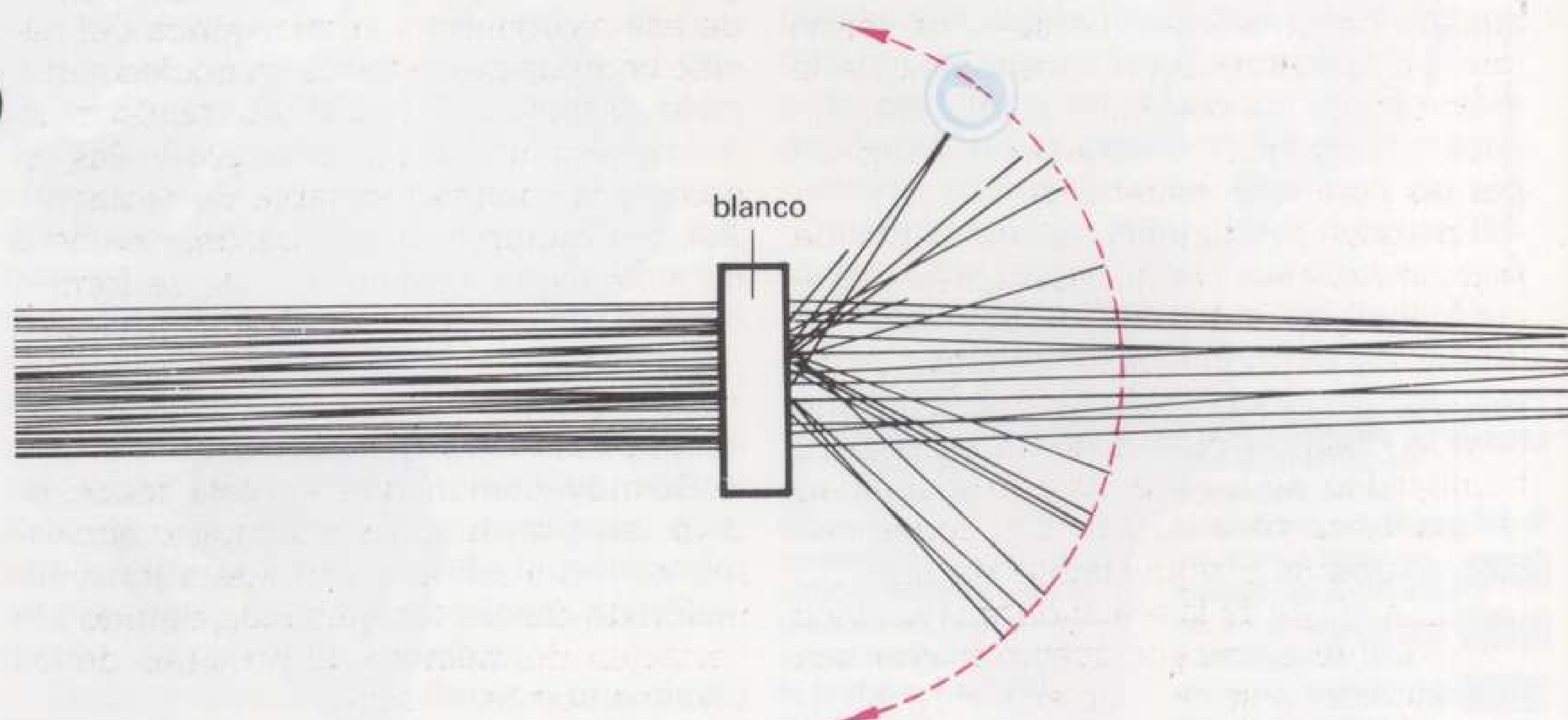
Reacción nuclear

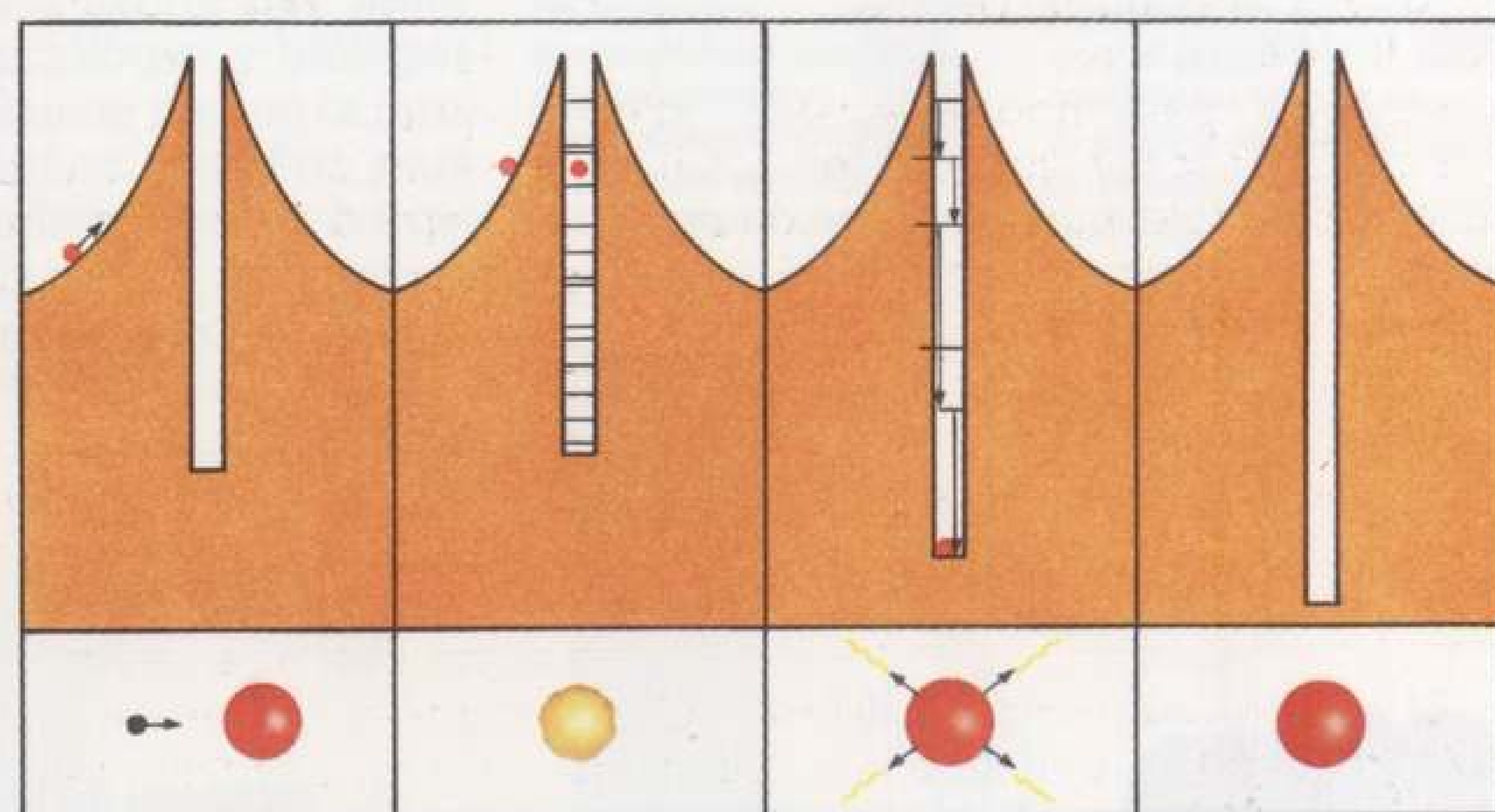
El hierro que se oxida, la gasolina que arde o la formación de agua a partir de hidrógeno y oxígeno son algunos ejemplos de los procesos denominados *reacciones químicas*.

En una reacción química, los enlaces entre los átomos de las sustancias que se combinan para formar compuestos de propiedades diferentes se establecen entre los electrones corticales más externos de los átomos, al aproximarse éstos suficientemente entre sí en su continuo movimiento de agitación a la temperatura de reacción.

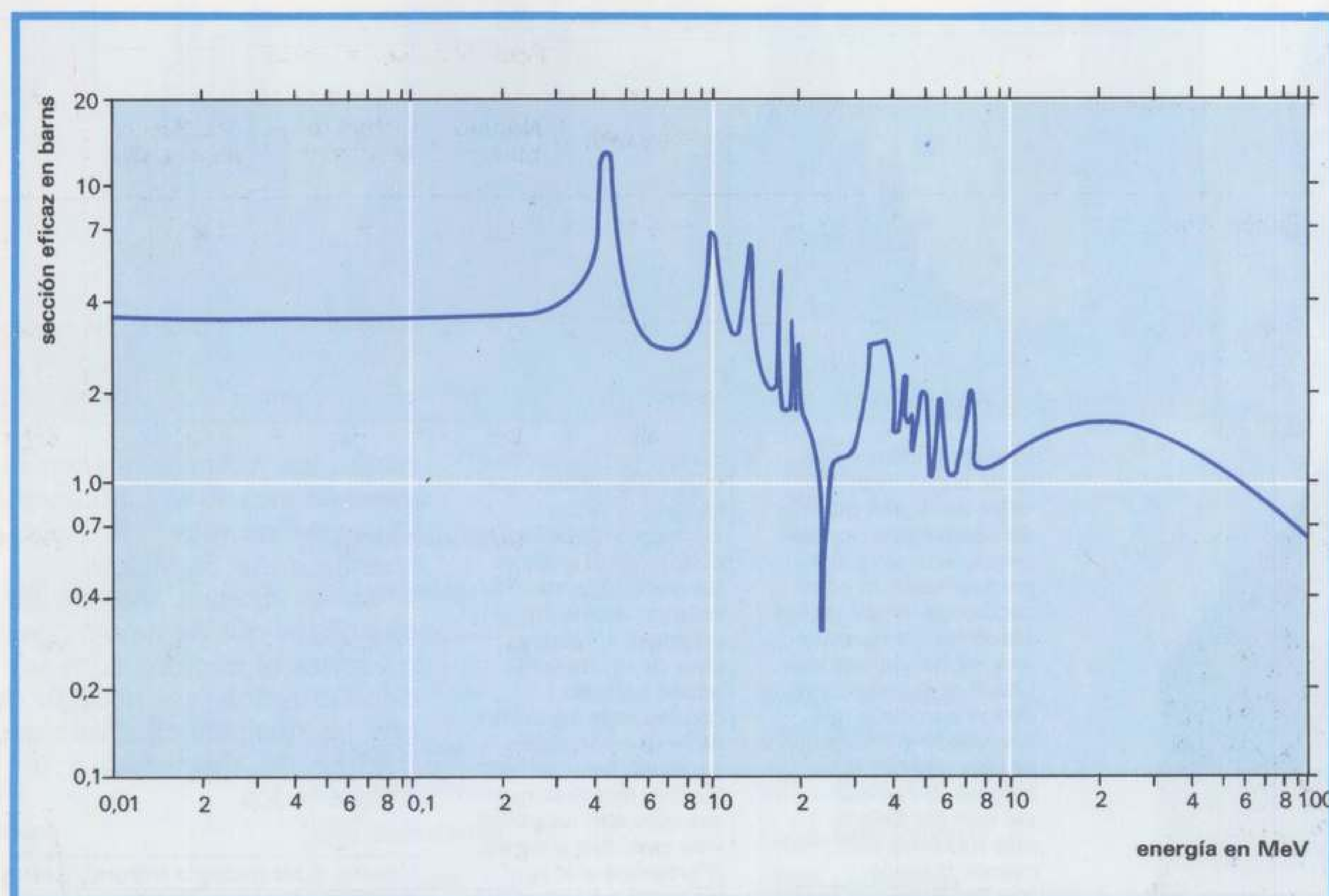
En el Universo ocurren otras reacciones en las que es el propio núcleo atómico el que entra en juego. Así, en el Sol y en las estrellas, y debido a las fortísimas presiones y temperaturas a que están sometidos los átomos, éstos llegan a aproximarse tanto que se produce la fusión de sus núcleos. También la radiación cósmica que llega a nuestro planeta, debido a su gran energía, da lugar a interacciones con los núcleos de los átomos de la atmósfera. Se trata, en estos casos, de *reacciones nucleares*.







Arriba, colisión nuclear en la que una partícula incidente, que interacciona con un núcleo (A), produce una transformación en otro (B) y una nueva partícula resultante (C). A su derecha, dispersión que puede experimentar una partícula al incidir sobre un blanco con el que no llega a producir una colisión nuclear. A la derecha de estas líneas se describe gráficamente la barrera de potencial del campo de fuerzas a vencer por el protón que hace de proyectil (izquierda), asimilándolo a la pendiente puntiaguda del dibujo. El protón, una vez vencida la barrera de potencial, distribuye su energía con las emisiones energéticas correspondientes, hasta quedar el núcleo final (derecha). Abajo, representación gráfica de la probabilidad de colisión (sección eficaz) en función de la energía de las partículas incidentes. A determinadas energías, que coinciden con unos ciertos niveles de distribución de la energía del núcleo bombardeado, se producen picos de mucha mayor probabilidad, o resonancia, de la reacción de que se trate. A otras energías también pueden producirse valles de sección eficaz de bajo valor.



En las reacciones nucleares se produce, en general, una transmutación de elementos químicos. En el cuadro de la página siguiente se recogen ejemplos de diferentes tipos de reacciones nucleares, de entre las muchas posibles. A la hora de estudiar su balance energético, todas ellas están sometidas, rigurosamente, a los principios de conservación de número másico (superíndice) y de la carga eléctrica (subíndice), así como a las leyes físicas fundamentales de la mecánica ondulatoria y relativista y, en particular, a la ecuación de transformación de la masa en energía, $E = mc^2$, de Einstein. Las dos últimas reacciones corresponden, →

La estructura discontinua de la materia y la "probabilidad de impacto" Al igual que en el Universo las estrellas ocupan un espacio mínimo en comparación con la inimaginable extensión del espacio sideral, los núcleos y electrones de los átomos de la materia se concentran en volúmenes extraordinariamente pequeños comparados con las distancias recíprocas que los separan entre sí —que pueden llegar a ser más de diez mil veces superiores al tamaño de un núcleo medio—, de forma que, en la estructura microscópica de la materia, hay, en realidad, mucho más espacio vacío que el netamente ocupado por las partículas materiales.

En estas condiciones, el concepto de reacción nuclear va necesariamente asociado al de la probabilidad de impacto de las partículas o núcleos incidentes con los respectivos núcleos de la sustancia que hace de blanco, cual si de un verdadero bombardeo se tratase. Esta probabilidad se cuantifica, para los cálculos, según una cierta superficie equivalente de impacto (*sección eficaz* de la reacción, en términos físicos), que es mayor cuanto mayor sea la concentración de núcleos a bombardear y el flujo de proyectiles incidentes, ya que ello contribuye a facilitar el encuentro de ambos.

Pero, aun partiendo de estas condiciones de impacto, y, sobre la probabilidad de que una determinada reacción nuclear tenga o no lugar, dependerá, además de la sección eficaz de la reacción, de otras determinadas características propias, como son la naturaleza y carga eléctrica de las partículas incidentes y las condiciones de estabilidad energética de los núcleos bombardeados.

El núcleo compuesto excitado Cuando se consigue provocar una reacción nuclear en un átomo, el proceso físico que tiene lugar en el interior de su núcleo se desarrolla de acuerdo con un determinado modelo que fue propuesto por el físico danés N. Bohr en 1936, y, según el cual, el núcleo blanco absorbe la partícula incidente y se convierte, por unos brevísimos instantes, en un "núcleo compuesto", en el que la energía de la partícula absorbida se distribuye en su interior, provocando, de alguna forma, una reorganización energética del conjunto. Como consecuencia de esa reorganización energética del núcleo compuesto, se forma un núcleo resultante, distinto del inicial, liberándose, simultáneamente, una o varias partículas, así como una cantidad variable de radiación. Así, por ejemplo, al bombardear núcleos de aluminio con partículas alfa, se forman núcleos de silicio y se liberan protones, pasándose previamente por un estado intermedio en el que se forma un núcleo compuesto de fósforo inestable.

Es muy común que en esta reacción, como en otras muchas reacciones nucleares, se produzca una verdadera transmutación de elementos químicos, debido a la variación del número de protones de los núcleos bombardeados.

Las reacciones nucleares artificiales El físico británico Rutherford fue quien evidenció por primera vez una reacción nuclear cuando, en 1919, bombardeó nitrógeno con partículas alfa emitidas por una fuente radiactiva de radio C, obteniendo núcleos de oxígeno y de hidrógeno (protones). A partir de entonces, los científicos iniciaron una serie de experiencias similares, primeramente para estudiar la radiactividad artificial producida en dichas reacciones, y, posteriormente, para obtener, mediante el bombardeo de uranio con neutrones, elementos transuránidos desconocidos hasta entonces, lo que condujo a su vez al descubrimiento de la fisión nuclear; finalmente, se desarrollaron las aplicaciones de la fisión nuclear y la producción de radioisótopos, así como los aceleradores de partículas, con cuyos gigantescos modelos actuales es posible obtener energías de bombardeo tan elevadas que las reacciones nucleares a que dan lugar permiten investigar las partículas más fundamentales de la estructura de la materia, que subyacen incluso en la constitución de las que hasta hace poco han sido consideradas como partículas elementales de la misma.

Reacción en cadena Volviendo a un ejemplo químico, hay procesos, como la combustión de un tronco de madera, en los que, una vez iniciada la reacción, ésta se autoalimenta por sí misma de la energía necesaria para continuar por sí sola hasta agotarse. Se dice, entonces, que se está produciendo una reacción en cadena.

Otro ejemplo de reacción química en cadena es el de la formación de polímeros, o *polimerización*, que consiste en la formación de largas cadenas por combinación repetida de las moléculas de los cuerpos reaccionantes, a veces, mediante la eliminación de moléculas más pequeñas, como por ejemplo el agua.

Sin embargo, el modelo más típico de este tipo de reacciones lo constituye la fisión nuclear en cadena, que consiste en una reacción nuclear muy particular en la que, como en la mayoría de las reacciones nucleares, la materia se transmuta a nivel de núcleo atómico. En líneas generales, la fisión nuclear es el proceso por el cual un núcleo pesado se divide en dos fragmentos de masa aproximadamente igual, liberándose, como consecuencia de la escisión, una gran cantidad de energía y algunas partículas.

En la fisión de uranio-235, por ejemplo, los neutrones liberados tras la fragmen-

→ respectivamente, a la de producción del radioisótopo de cobalto, utilizado en medicina para la irradiación de tumores, y a la de producción por la radiación cósmica, a partir del nitrógeno atmosférico, del carbono-14 que, en forma de dióxido de carbono, es incorporado habitualmente al metabolismo biológico. Cuando el organismo muere, esa asimilación se detiene, iniciándose un proceso de desintegración paulatina y constante del carbono-14 absorbido: la cantidad de carbono-14 existente en un organismo muerto se reduce a su mitad cada 5.730 años, por lo que constituye un método de datación muy útil para establecer cronologías absolutas.

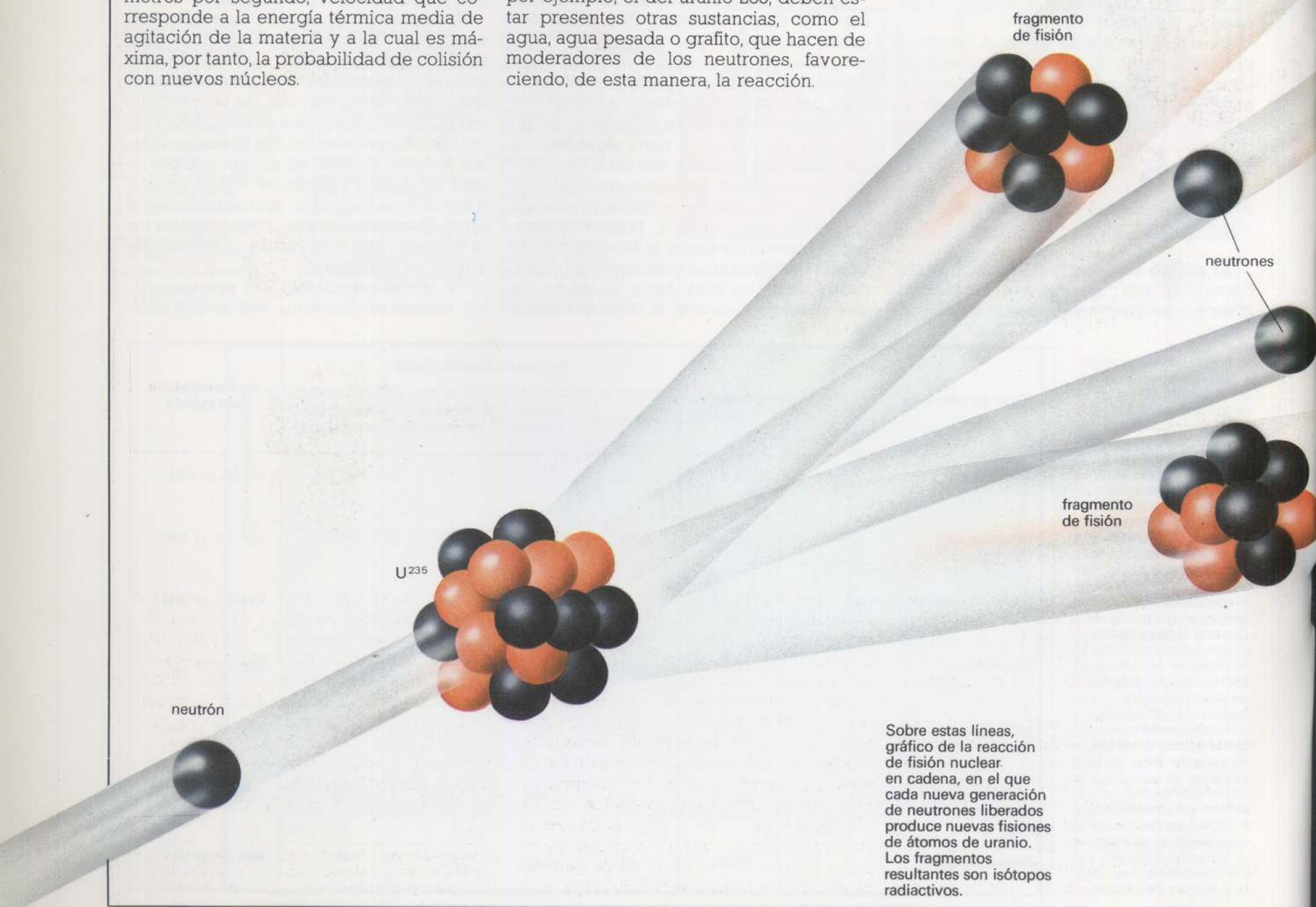
Tipo de reacción	Símbolo	Ecuación desarrollada							Nomenclatura abreviada
		Proyectil	+	Núcleo blanco	→	Núcleo resultante	+	Partícula resultante	
Protón-alfa	(p, α)	H_1^1	+	Li_3^7	→	He_2^4	+	He_2^4 (α)	Li_3^7 (p, α) He_2^4
Deuterón-alfa	(d, α)	H_1^2	+	O_8^{16}	→	N_7^{14}	+	He^4	O_8^{16} (d, α) He_2^4
Gamma-neutrón	(γ, n)	γ_0^0	+	Be_4^9	→	$2He_2^4$	+	n_0^1	Be_4^9 (γ, n) $2He_2^4$
Alfa-neutrón	(α, n)	α_2^4	+	Be_4^9	→	C_6^{12}	+	n_0^1	Be_4^9 (α, n) C_6^{12}
Neutrón-alfa	(n, α)	n_0^1	+	Al_{13}^{27}	→	Na_{11}^{24}	+	He_2^4	Al_{13}^{27} (n, α) Na_{11}^{24}
Neutrón-gamma	(n, γ)	n_0^1	+	Co_{27}^{59}	→	Co_{27}^{60}	+	γ_0^0	Co_{27}^{59} (n, γ) Co_{27}^{60}
Neutrón-protón	(n, p)	n_0^1	+	N_7^{14}	→	C_6^{14}	+	H_1^1	N_7^{14} (n, p) C_6^{14}

LIBERACION DE ENERGIA EN LA REACCION NUCLEAR DE FISION DEL URANIO		
Fragmentos de fisión	166 MeV	83,0 %
Neutrones de fisión	5 MeV	2,5 %
Radiación β, γ instantánea	17 MeV	8,5 %
Radiación β, γ progresiva	12 MeV	6,0 %
TOTAL	200 MeV	100,0 %

Por cada fisión de una reacción en cadena de uranio se libera una energía de 200 MeV (equivalente a 20.000 millones de calorías por gramo fisionado), que procede de la transformación en energía de una milésima parte de la masa del núcleo atómico. Esa energía se reparte según se indica en el cuadro situado a la izquierda de estas líneas y su generación es directa a partir de la energía de enlace del núcleo de uranio. La energía de fisión aparece, por lo tanto, en forma de rayos gamma, de energía cinética de los fragmentos y de los neutrones emitidos, y en forma de radiación β de los fragmentos. Por tanto, la reacción no necesita oxígeno ni produce dióxido de carbono, como en el caso de una combustión química convencional. Por otra parte, su elevado rendimiento energético supera en un factor de un millón al correspondiente a la combustión convencional de una masa equivalente de carbón.

tación del núcleo aparecen dotados de gran energía, alcanzando a veces velocidades superiores a los 10.000 kilómetros por segundo. Para que estos neutrones puedan provocar nuevas fisiones, continuando de esta forma la reacción en cadena, debe moderarse su velocidad hasta alcanzar, aproximadamente, unos 2,2 kilómetros por segundo, velocidad que corresponde a la energía térmica media de agitación de la materia y a la cual es máxima, por tanto, la probabilidad de colisión con nuevos núcleos.

Existe, pues, en el proceso de fisión energía suficiente para que la reacción, una vez iniciada, se autoalimente, aunque deben cumplirse para ello ciertas condiciones: la concentración de núcleos del material fisible debe ser suficiente como para que exista una adecuada probabilidad de impacto. En algunos casos, como, por ejemplo, el del uranio-235, deben estar presentes otras sustancias, como el agua, agua pesada o grafito, que hacen de moderadores de los neutrones, favoreciendo, de esta manera, la reacción.



Sobre estas líneas, gráfico de la reacción de fisión nuclear en cadena, en el que cada nueva generación de neutrones liberados produce nuevas fisiones de átomos de uranio. Los fragmentos resultantes son isótopos radiactivos.



En definitiva, si se consigue mantener las condiciones adecuadas de dichos factores, a partir de una cierta masa mínima, denominada *masa crítica*, se producirá la reacción en cadena, o reacción automantenida de fisión.

Si se consigue controlar la reacción, de forma que el ritmo de fisión se mantenga invariable con el tiempo a un determinado nivel, el proceso puede utilizarse como fuente de producción energética, como es el caso de las centrales nucleares. Si, por el contrario, se diseña un dispositivo con unas características especiales, encaminadas a que la reacción en cadena se produzca en breves instantes, de forma exponencialmente creciente hasta agotarse el material fisible, toda la energía producida se liberará de una sola vez, dando lugar a una explosión nuclear.

En la reacción nuclear en cadena se produce radiactividad, dado que los fragmentos de fisión de pesos atómicos intermedios son isótopos radiactivos de los correspondientes elementos originados. Esta característica distingue a las "instalaciones nucleares" de las "instalaciones radiactivas", en las que se manejan radioisótopos, pero sin posibilidad de generarse una mayor radiactividad de la que ellos mismos poseen. El aprovechamiento de la enorme cantidad de energía liberada durante la fisión del uranio-235, del uranio-233 (obtenido a partir del torio-232) o del plutonio, como ejemplos más significantes, constituye uno de los más importantes retos de nuestra época, ya que puede significar una alternativa, peligrosa pero viable, ante el agotamiento de las reservas energéticas naturales que amenaza a la Humanidad en un futuro no muy lejano.

Véase **Atomo; Física de partículas; Fisión nuclear; Fusión nuclear; Isótopos; Masa crítica; Polímeros; Radioisótopos; Radiactividad; Reacción química**

Reacción química

Cuando el agua de un estanque se congela o cuando el agua de una tetera se evapora, las unidades fundamentales que la componen, las moléculas, experimentan, unas respecto a otras, cambios en su estado físico de agregación: gozan de mayor o menor libertad en sus movimientos, están más o menos separadas, etc., pero su constitución —dos átomos de hidrógeno por cada átomo de oxígeno— permanece invariable.

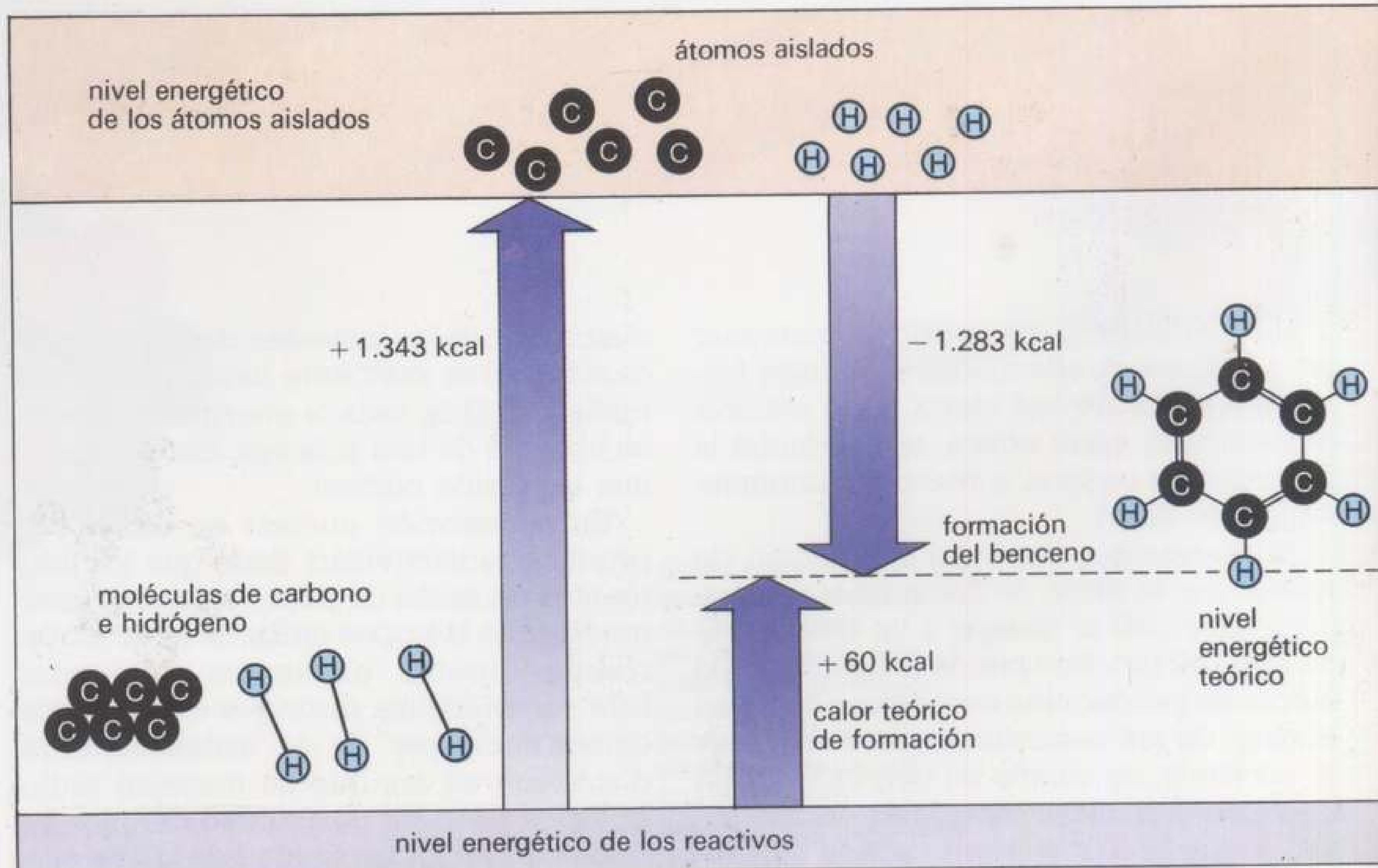
Sin embargo, cuando la madera arde, cuando el cemento se solidifica o cuando se obtiene goma sintética a partir del acetileno y del cloro, sí se están produciendo unas transformaciones fundamentales: los materiales de origen, llamados *reactivos*, pierden su identidad y se convierten en nuevas sustancias, llamadas "productos", con propiedades diversas y composiciones propias. Todas estas transformaciones se deben a cambios químicos, y, de forma genérica, se suele denominar a cada uno de estos procesos de transformación con el nombre de *reacción química*.

energía | reactivos | productos | reactivos | energía = calor | productos | energía | reactivos | productos | reactivos | energía = calor | productos

Calor y energía son dos parámetros que definen las reacciones químicas de una forma general: pueden distinguirse, de este modo, las reacciones exotérmicas y las reacciones endotérmicas. En las primeras se libera calor y la energía contenida por los reactivos es superior a la energía de los productos. En las segundas, se absorbe calor, la energía de los reactivos es inferior a la de los productos y la diferencia entre éstas debe ser, entonces, proporcionada desde el exterior.



El benceno es una molécula que contiene seis átomos de carbono y seis de hidrógeno. En su formación, a partir de hidrógeno y grafito, se suele absorber calor; se trata, por tanto, de una reacción endotérmica. Esto significa que la energía contenida por los productos de partida, hidrógeno y grafito, es inferior a la del producto final, es decir, la molécula de benceno. Es necesario entonces suministrar desde el exterior la energía que requiere el proceso. En el diagrama bajo estas líneas podemos observar los parámetros que entran en juego en esta reacción: a partir del carbono sólido y del hidrógeno gaseoso, suministrando 1.343 kilocalorías, se obtienen seis átomos de carbono en estado gaseoso y seis átomos más de hidrógeno. La reacción que se produce en esa mezcla gaseosa libera unas 1.283 kilocalorías: la diferencia, 60 kilocalorías, es absorbida en la formación de una molécula de benceno. Los valores numéricos que se mencionan se refieren a cálculos teóricos. Si observáramos la reacción experimentalmente, veríamos que las kilocalorías que se liberan en la formación del benceno son 1.323 y que tan sólo 20 kilocalorías se absorben en la formación de ese núcleo. La explicación reside en la especial estructura que posee la molécula de benceno, con una nube electrónica cuya distribución confiere al anillo bencénico una mayor estabilidad y, por tanto, da también mayor estabilidad a la molécula.



Atomos, fórmulas y ecuaciones Toda sustancia, ya se presente en estado sólido, líquido o gaseoso, está compuesta por átomos. Existe tan sólo un número reducido de sustancias simples, formadas por una sola clase de átomos, y toman la denominación de *elementos*. Por razones de brevedad y de conveniencia, los químicos representan cada elemento con un símbolo, que suele estar formado por la inicial y, a veces, por la inicial y otra letra de su nombre latino. Así, por ejemplo, el oxígeno se representa con la letra O, el hidrógeno con la H, el cloro con las letras Cl, etc. Estas abreviaciones son de gran utili-

dad para la descripción de las reacciones químicas y también para ilustrar los grupos de átomos que se encuentran como unidades estables e independientes formando moléculas. Una molécula de agua, por ejemplo, se suele representar como H_2O, lo que indica que dos átomos de hidrógeno están enlazados con un átomo de oxígeno. En consecuencia, H_2O es la fórmula química del agua.

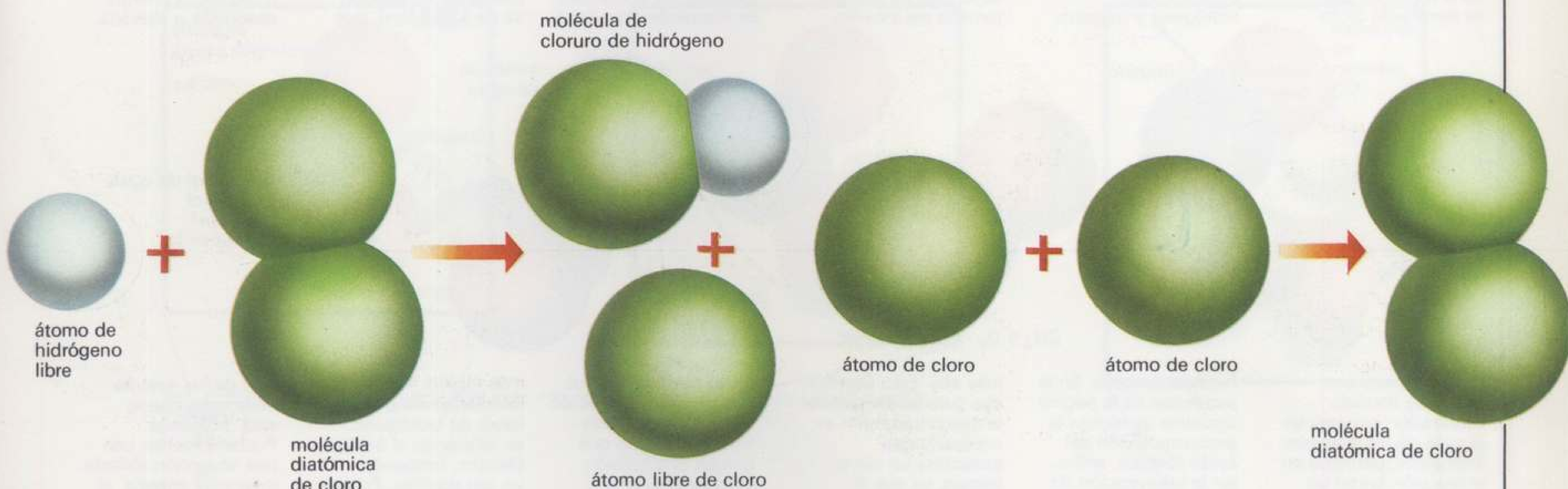
Por *ecuación química* se entiende la expresión mediante símbolos de una reacción química. La ecuación ilustra las fórmulas de cada una de las substancias que intervienen en la reacción —tanto las reaccionantes como los productos de la reacción— así como la cantidad relativa de cada una de ellas. La ecuación química de la reacción que tiene lugar entre el hidrógeno y el oxígeno gaseoso para formar agua



$$2\,H_2 + O_2 \rightarrow 2H_2O$$

indica que dos moléculas de hidrógeno gaseoso reaccionan con una molécula de oxígeno gaseoso para dar lugar a la formación de dos moléculas de agua. En todas las reacciones químicas el número total de los distintos tipos de átomos que forman los reactivos es equivalente al número de átomos que forman los productos. Sólo se producen cambios en los enlaces que unen los distintos átomos, mientras que el número total de éstos permanece invariable. En este aspecto, una reacción química se diferencia de una nuclear, en la cual los mismos átomos están sometidos a diversas transformaciones que hacen que se formen nuevos tipos de núcleos.

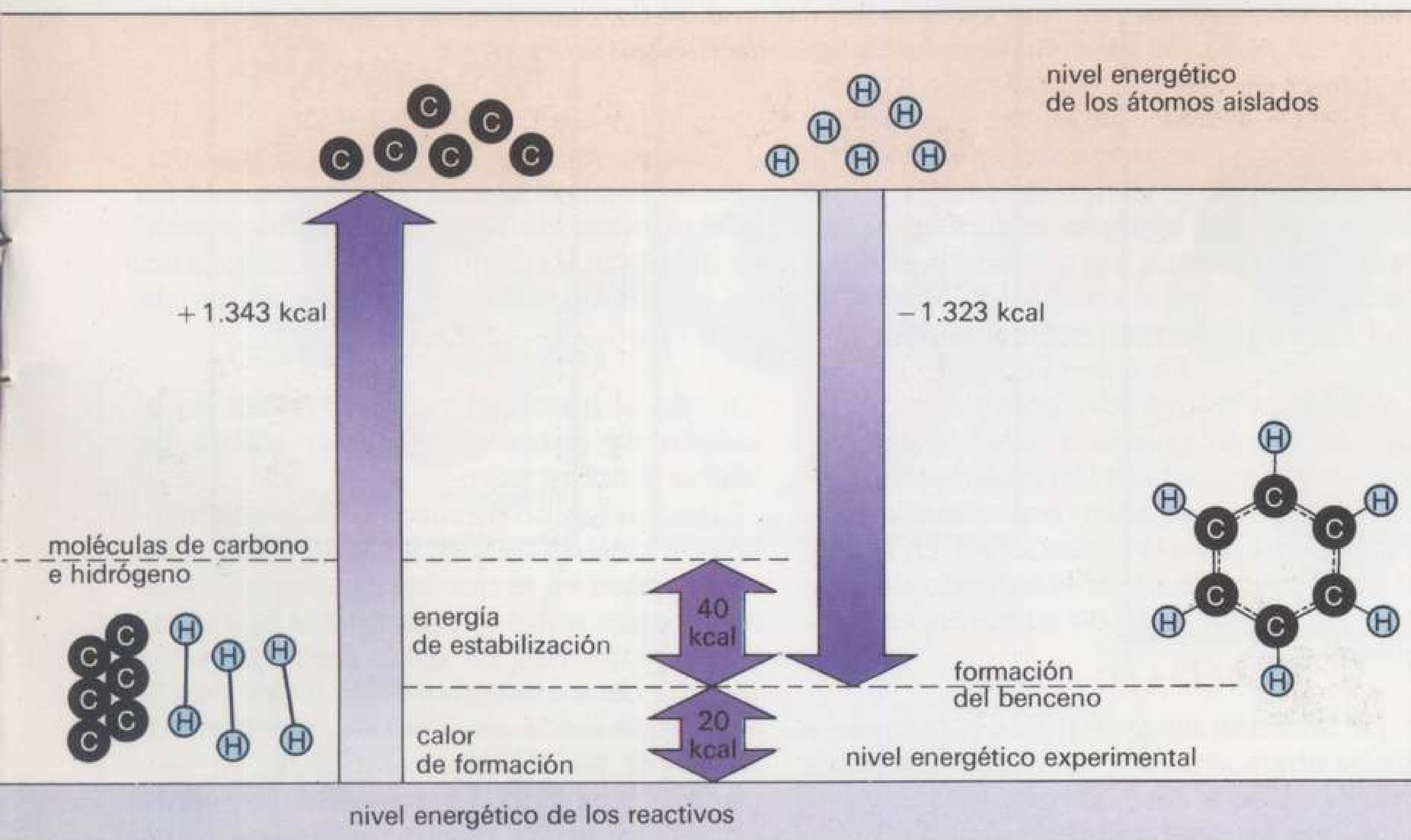
Enlaces y número de valencia Los tipos de reacción a que pueden verse sometidos los átomos de un elemento dependen de su estructura atómica. La estructura del átomo es similar a la de un sistema solar en miniatura, con partículas cargadas negativamente, los *electrones*, que giran alrededor de un núcleo más voluminoso, cargado positivamente. Todos los átomos de un elemento tienen el mismo número de electrones. Estos se reagrupan en torno al núcleo siguiendo una distribución ordenada en envolturas sucesivas, que se llaman *niveles electrónicos*.

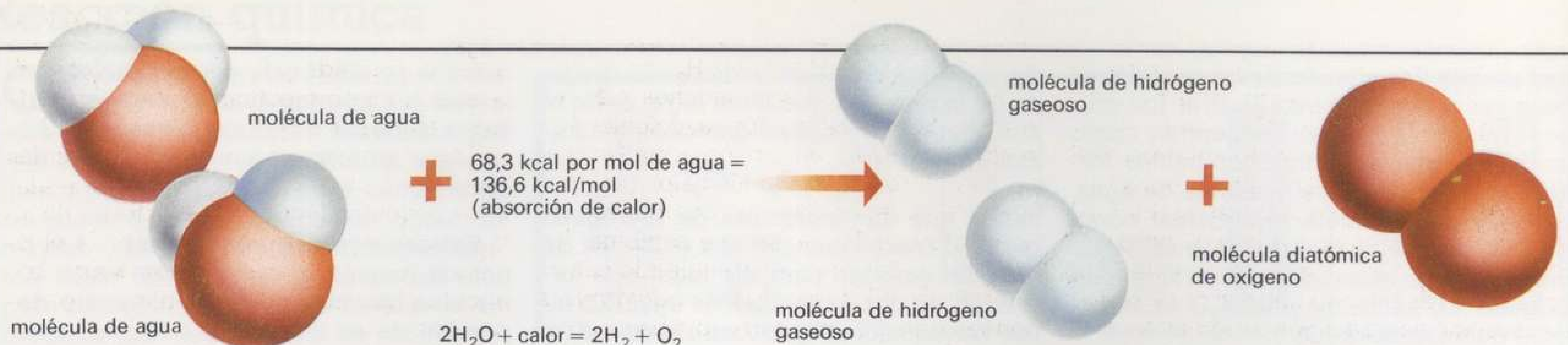


Una reacción química muy característica es la formación de ácido clorhídrico a partir de hidrógeno y cloro gaseoso. Sin embargo, el primer paso de la reacción necesita la presencia de luz ultravioleta; una cantidad de ésta, *quantum*, es absorbida por la molécula diatómica del cloro, que se escinde entonces en dos átomos libres, muy reactivos. Un átomo libre de cloro reacciona con la molécula diatómica del hidrógeno, escindiéndola y enlazándose a un átomo de hidrógeno libre, que también es muy reactivo. En ese momento ya se ha formado una molécula de cloruro de hidrógeno. El átomo libre de hidrógeno, debido a su propia reactividad, reacciona con otra molécula diatómica de cloro: se forma así una nueva molécula de cloruro y se libera un átomo de cloro. Este último puede reaccionar, a su vez, con otro átomo libre de cloro, de forma que la reacción puede volver a empezar. En la oscuridad la reacción transcurre con más lentitud.

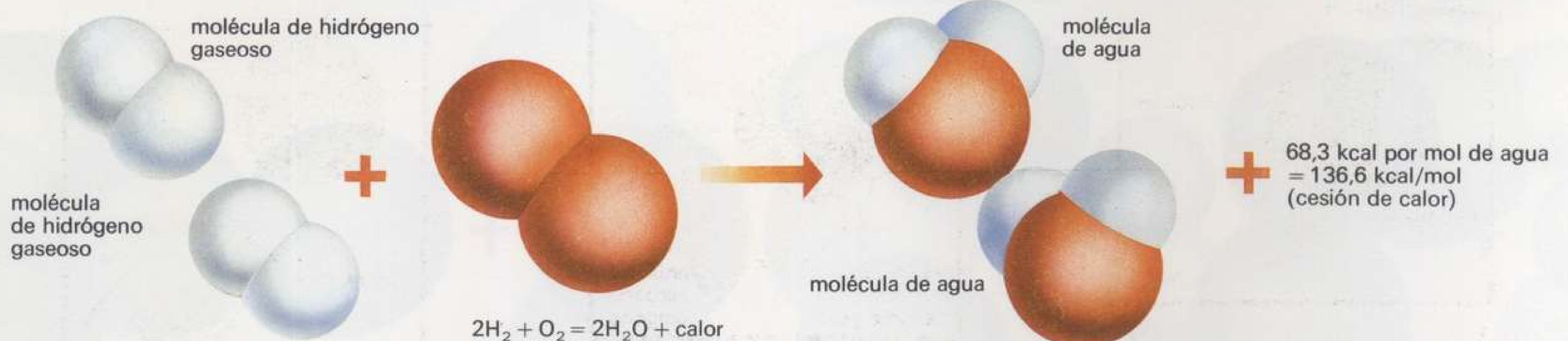
Existen tan sólo unos determinados niveles electrónicos y el número máximo de electrones que cada uno puede contener varía de un nivel a otro. Si el nivel electrónico externo de un átomo posee el número máximo de electrones que éste puede alojar, como sucede con el helio, el neón, el argón y los demás gases nobles, se dice entonces que el nivel está completo y que el elemento, desde un punto de vista químico, es inerte. Los electrones del último nivel reciben el nombre de *electrones de valencia*. Los átomos que no tienen completo el último nivel electrónico presentan actividad química, que se traduce en capacidad para ceder electrones, tomarlos y compartirlos hasta adquirir una estructura electrónica estable, como la de los gases nobles.

La actividad de un átomo en el transcurso de una reacción química viene dada por su *número de valencia*. El hidrógeno es el átomo de referencia utilizado para asignar la valencia o capacidad de combinación de cualquier otro átomo. El número de átomos de hidrógeno que se pueden combinar con un átomo de un elemento dado representa la valencia de este elemento. Un átomo de hidrógeno se combina con un átomo de cloro para formar el cloruro de hidrógeno, HCl (ácido clorhí-





La ley de la conservación de la energía afirma que en una transformación cualquiera, como puede ser por ejemplo una reacción química, la energía siempre se conserva, independientemente de la forma en que se manifieste dicha transformación. Las figuras de arriba y abajo reflejan una reacción de formación y otra de disociación, análogas y complementarias. En la primera, el agua se disocia en sus elementos constitutivos, hidrógeno y oxígeno, mientras que en la segunda son el oxígeno y el hidrógeno los que reaccionan para dar agua. Ya con más detalle vemos que en la reacción de disociación tiene lugar un proceso endotérmico con absorción de energía tomada del exterior en forma de calor: precisamente 68,3 kilocalorías por cada molécula de agua. A partir de dos moléculas de agua se forman dos moléculas de hidrógeno gaseoso y una molécula diatómica de oxígeno. En la reacción de formación sucede lo contrario: la reacción es exotérmica, liberándose energía en forma de calor, las mismas 68,3 kilocalorías que habían sido absorbidas por cada molécula de agua en el proceso de disociación. El balance global de la reacción es de 136,6 kcal, que son intercambiadas, absorbidas o liberadas en una u otra de las transformaciones; de este modo podríamos decir que el contenido energético de los reactivos se iguala siempre al de los productos, y así, más o menos, la energía absorbida o liberada.



En la catálisis, una sustancia llamada catalizador, enzimas en el caso de los sistemas biológicos, participa en la reacción como un sencillo estimulador, acelerándola sin transformarla y permaneciendo siempre inalterado al final del proceso. En la secuencia de la página siguiente se recoge la descomposición del ácido fórmico, arriba, sin la intervención de un catalizador. Podemos observar cómo la energía de activación de la reacción es mucho más alta. Esto significa que para poder realizar la descomposición es necesario que transcurra un cierto tiempo, ya que la reacción no catalizada discurre muy lentamente. En la secuencia de abajo se resuelve por medio de un catalizador, que en este caso es el ácido sulfúrico. Este libera iones hidrógeno que ejercen una función catalizadora. En presencia del ácido sulfúrico, la energía de activación es mucho más baja y la reacción transcurre de un modo más rápido. Más detalladamente, los iones de hidrógeno se adicionan al ácido fórmico, formando un ion positivo. En este momento es suficiente una pequeña variación energética para poder separar una molécula de agua, pues uno de los enlaces carbono-oxígeno está debilitado. Posteriormente, con una absorción todavía menor de energía, el ion positivo formado se escinde en óxido de carbono, CO, y en agua, liberando de nuevo el ion de hidrógeno.

drico). En consecuencia, la valencia del cloro es 1. Dos átomos de hidrógeno se combinan con un átomo de oxígeno para formar agua, H_2O, de manera que el oxígeno tiene como valencia 2.

La valencia de un átomo puede indicar también el número de electrones que serían necesarios para completar su nivel electrónico externo o el número de electrones que podría compartir con uno o más átomos. Con frecuencia, las reacciones implican transferencia de electrones desde un átomo (o ion) a otro. En estos casos, las reacciones son de oxidación, si cede uno o más electrones a otro átomo o ion que, a su vez, experimenta una reducción. El número de electrones cedidos o tomados se denomina *número de oxidación*, que es positivo en el primer caso y negativo en el segundo. Aquí la valencia coincide numéricamente con el número de oxidación.

Tipos de reacción química Existen muchas formas de establecer una clasificación de las reacciones químicas. Por *reacción química irreversible* se entiende una reacción en la cual el equilibrio de la reacción está totalmente desplazado en el sentido de formación de los productos, los cuales no reaccionan a su vez para volver a dar los reactivos de partida. Existen muchas reacciones de este tipo. Los reactivos, en este caso, se escriben en el primer miembro de la ecuación química y los productos en el segundo, empleando una flecha para separar los miembros (→).

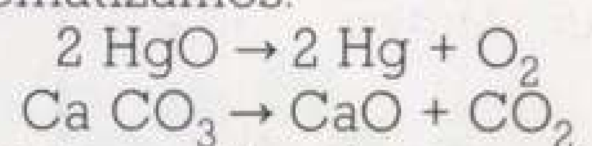
En una reacción de combinación directa, que es un ejemplo de reacción irreversible, dos o más sustancias reaccionan para producir únicamente una sustancia compleja. Este es el tipo de reacción que tiene lugar, por ejemplo, cuando el hidrógeno y el oxígeno se combinan entre sí para formar agua, o cuando el hierro (Fe) y el azufre (S) forman sulfuro de hierro:


$$Fe + S \rightarrow FeS$$

Las reacciones de combinación no transcurren solamente a nivel de los elementos, sino que también suelen darse entre reactivos que sean, por ejemplo, moléculas. Una de estas reacciones, en la cual el agua reacciona con el trióxido de azufre para formar el ácido sulfúrico, es la siguiente:


$$H_2O + SO_3 \rightarrow H_2SO_4$$

La reacción inversa al tipo de reacción que acabamos de ver se llama *descomposición*. En este caso, la sustancia se descompone en dos o más fracciones, átomos o moléculas. Así, por ejemplo, encontramos dos casos bastante representativos de este proceso: uno cuando el óxido de mercurio se descompone en mercurio y oxígeno, y otro cuando el carbonato de calcio se descompone en óxido de calcio y dióxido de carbono y que a continuación esquematizamos:


$$2\,HgO \rightarrow 2\,Hg + O_2$$
$$Ca\,CO_3 \rightarrow CaO + CO_2$$

Existe un tercer tipo de reacción, conocido con el nombre de *desplazamiento*. En el transcurso de este proceso un elemento desplaza o sustituye a otro compuesto. La siguiente reacción es un ejemplo de este tipo


$$Fe + CuSO_4 \rightarrow Cu + FeSO_4$$

En ella el hierro sustituye al cobre en el sulfato de cobre para formar sulfato de hierro y cobre puro.

Un cuarto tipo de reacción suele llamarse reacción de *desplazamiento doble*, y es un proceso en el que los dos compuestos reaccionan entre sí para formar dos compuestos nuevos. En estas reacciones los átomos de los metales o los iones positivos contenidos en los dos compuestos reactivos reaccionan cambiando su respectiva posición. La reacción siguiente entre fluoruro de plata y cloruro de sodio

para formar cloruro de plata y fluoruro de sodio ilustra este tipo de mecanismo:



$AgF + NaCl \rightarrow AgCl + NaF$

Todo cuanto hemos visto anteriormente representa cuatro ejemplos de los distintos tipos de reacciones irreversibles. Al hablar de *reacciones reversibles*, nos referimos a unas reacciones en las que los productos reaccionan entre sí para formar las sustancias reactivas originarias mediante unos procesos que suceden simultáneamente en ambas direcciones.

Las reacciones reversibles se indican en la fórmula con unas flechas dobles, una en dirección contraria a la otra, como puede verse en la siguiente reacción, durante la cual dióxido de azufre y agua se combinan para formar ácido sulfuroso en un proceso reversible:



$SO_2 + H_2 \rightleftharpoons SO_3H_2$

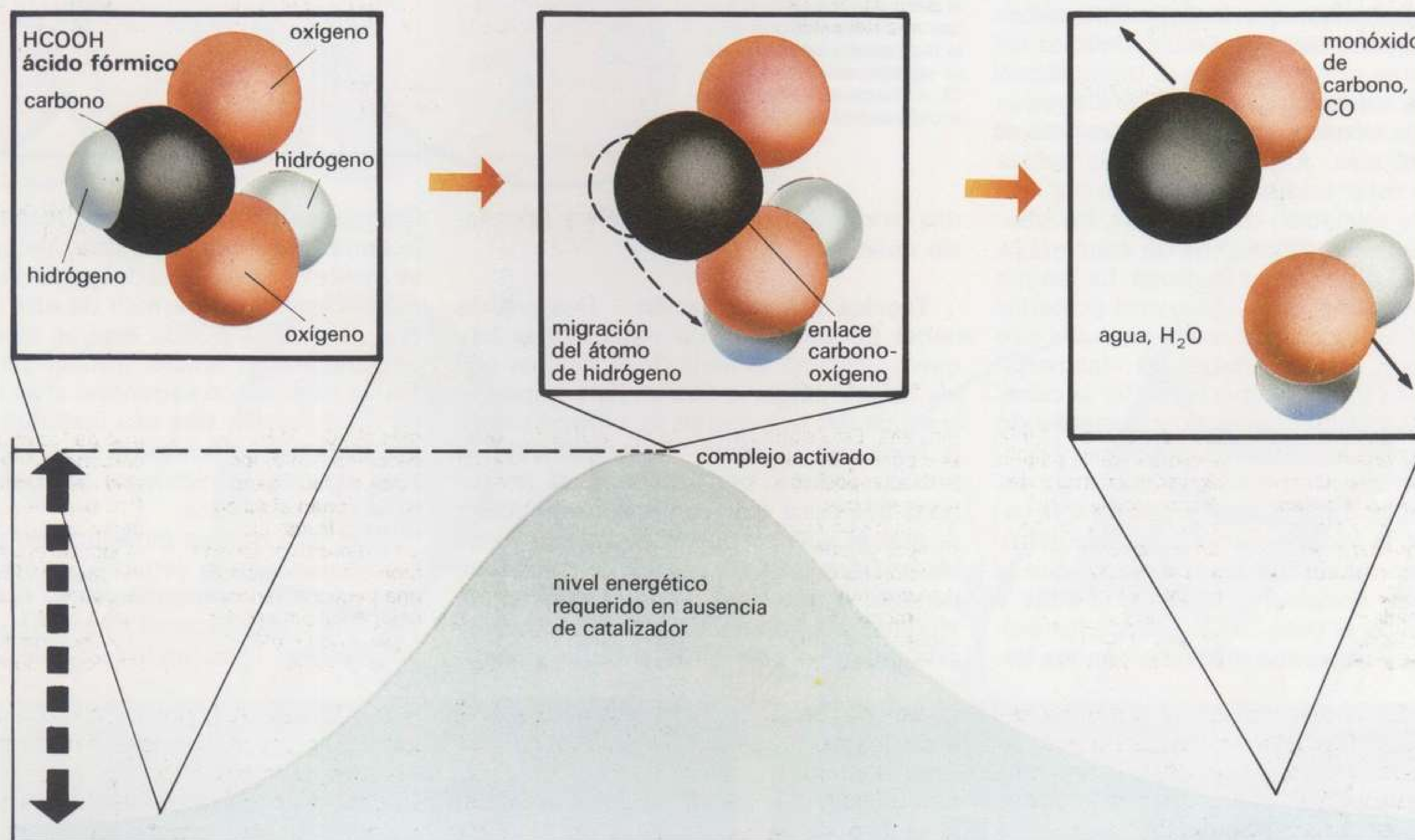
Existen, sin embargo, muchos más aspectos para clasificar las reacciones. Las *reacciones exotérmicas* son aquellas que se caracterizan por emitir calor (así, por ejemplo, la reacción de la combustión de la gasolina, en la que ésta se combina con el oxígeno del aire, desprendiendo calor), mientras que las *reacciones endotérmicas* son las que, por el contrario, absorben el calor. En las *reacciones de oxidación* se produce siempre un aumento del estado de oxidación de un elemento, mientras que en las de *reducción* este estado queda disminuido.

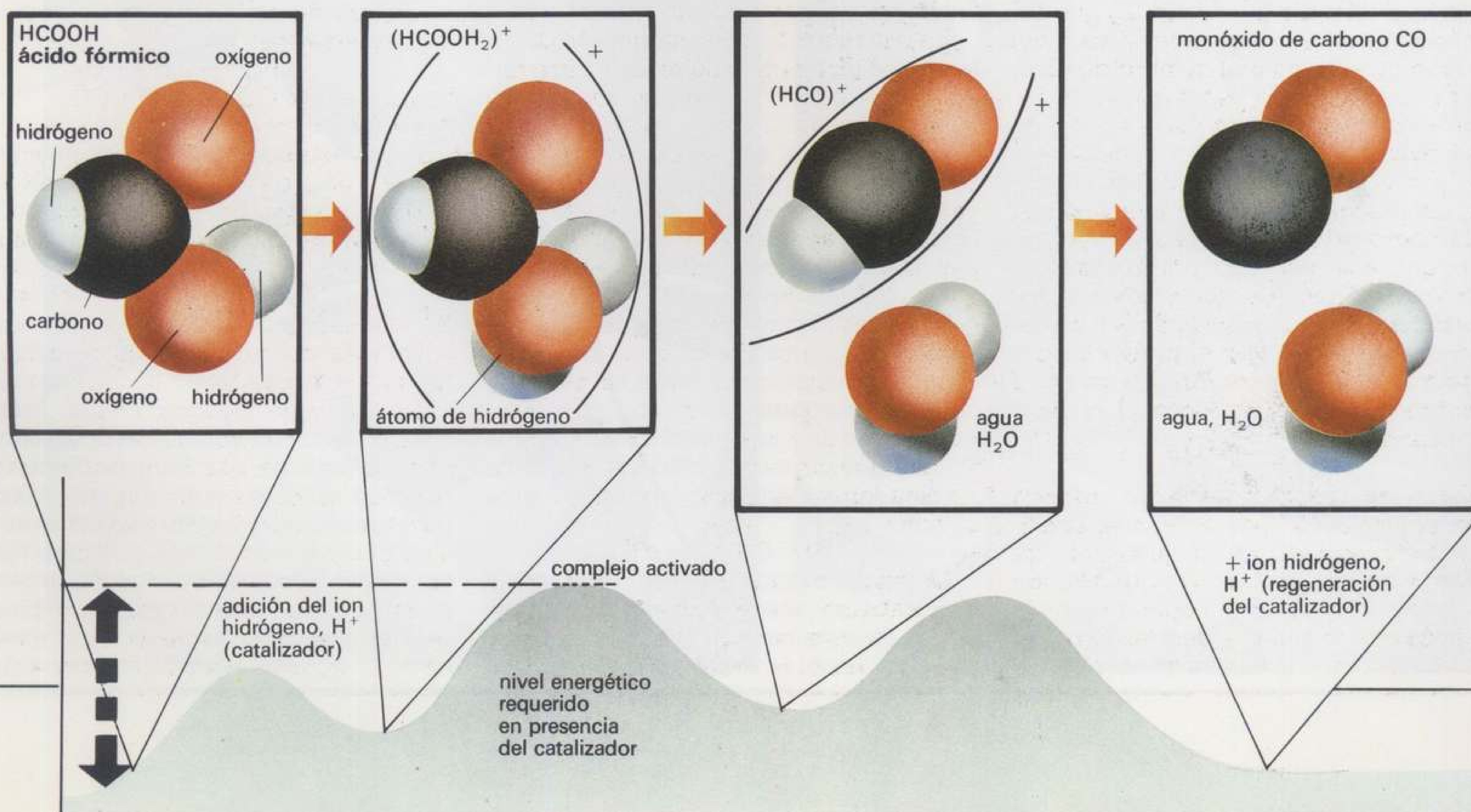
Las *reacciones catalíticas* son aquellas que se llevan a cabo en presencia de un catalizador. El catalizador es una sustancia que no interviene en el balance químico, no es consumida, pero sin su presencia la reacción no se efectuaría, o se efectuaría más lentamente.

Las *reacciones electroquímicas* son las que tienen lugar cuando se hace circular una corriente eléctrica en el interior de alguna disolución, como sucede en la electrólisis. Las *reacciones fotoquímicas* son aquellas que están provocadas o aceleradas por la luz.

Las reacciones entre ácidos y bases para dar lugar a los correspondientes bases y ácidos conjugados se denominan *reacciones protolíticas* (se llama *protólisis* a la transferencia de un protón de un ácido a una base).

Véase **Catálisis y catalizadores; Elementos químicos; Enlace químico y valencia; Oxidación y reducción; Química**





Reanimación

La respiración boca a boca, además de ser una de las técnicas de reanimación más sencillas de realizar, es el método más eficaz para ayudar a una persona que ha dejado de respirar. No requiere la utilización de ningún aparato, puede ser realizada en cualquier situación (por ejemplo, en el agua, en casos de ahogamiento, o en un automóvil que ha sufrido un accidente) y no necesita una particular preparación.

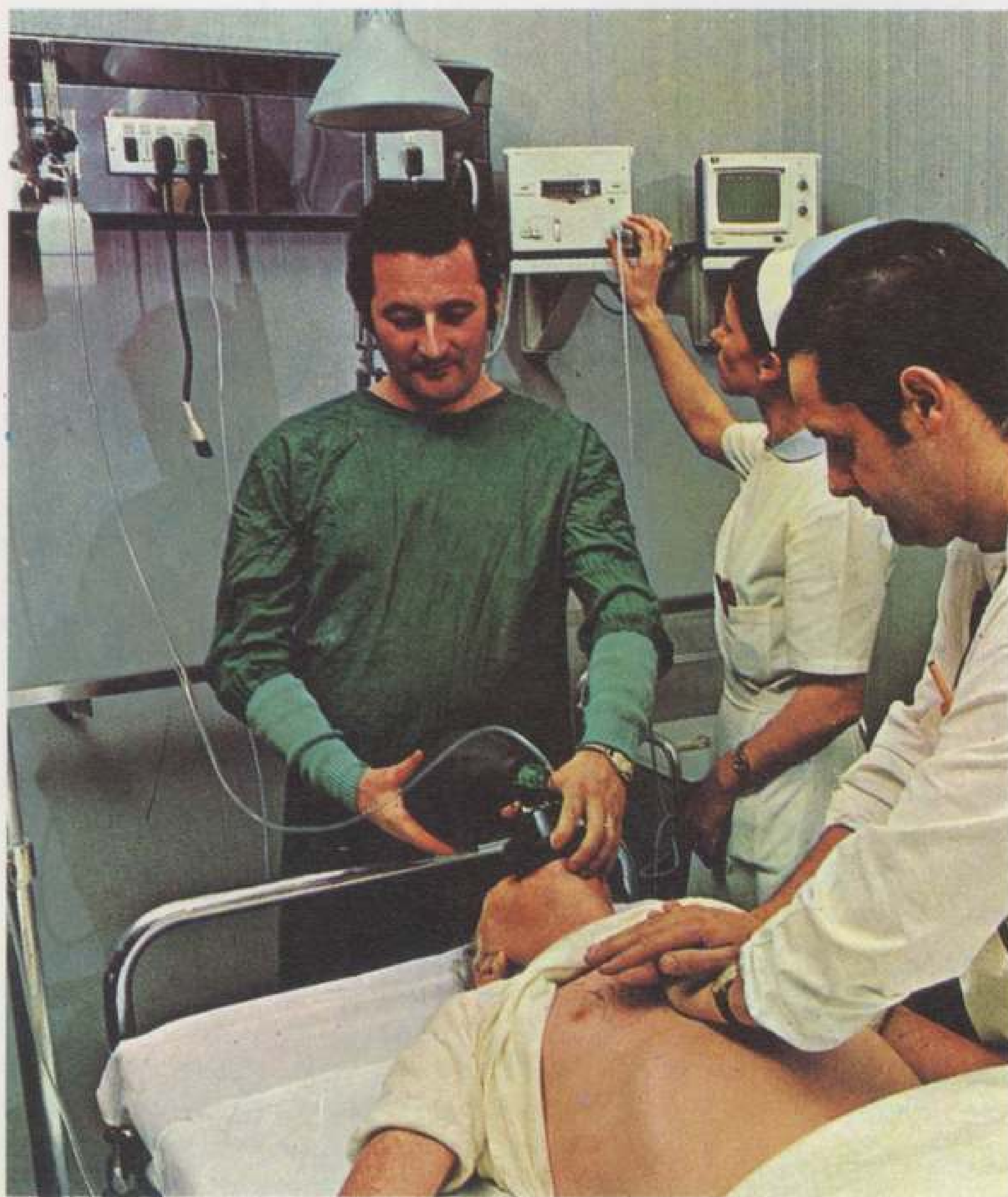
Liberar las vías respiratorias Ante todo, antes de comenzar la respiración boca a boca, es necesario asegurarse de que las vías respiratorias del accidentado están libres. En los casos de ahogamiento, el agua, a través de la nariz y de la boca, penetra en la laringe y en la tráquea, provocando espasmos en la garganta que impiden el paso del aire. En las víctimas de accidentes, con frecuencia el traumatismo provoca, además, vómitos. Tanto el agua como los vómitos pueden obstaculizar el paso del aire. Algunos casos de asfixia pueden estar originados también por una excesiva relajación de la lengua, frecuente en los casos de pérdida de conciencia, debida al alcohol o a la droga. La lengua cae hacia atrás, contra la pared posterior de la faringe, cerrando así el paso del aire por la laringe. Para liberar las vías respiratorias es preciso hiperextender la cabeza de las víctimas hacia atrás, sosteniendo el cuello o la espalda con una mano, y posteriormente retirar cualquier sustancia extraña, moco o vómito, haciendo rotar la cabeza de la víctima hacia un lado e introduciendo los dedos. En el caso de que la lengua se encuentre caída hacia atrás y obstaculice el paso del aire hacia los pulmones, es necesario agarrarla con los dedos sirviéndose de un pañuelo y tirar hacia delante.

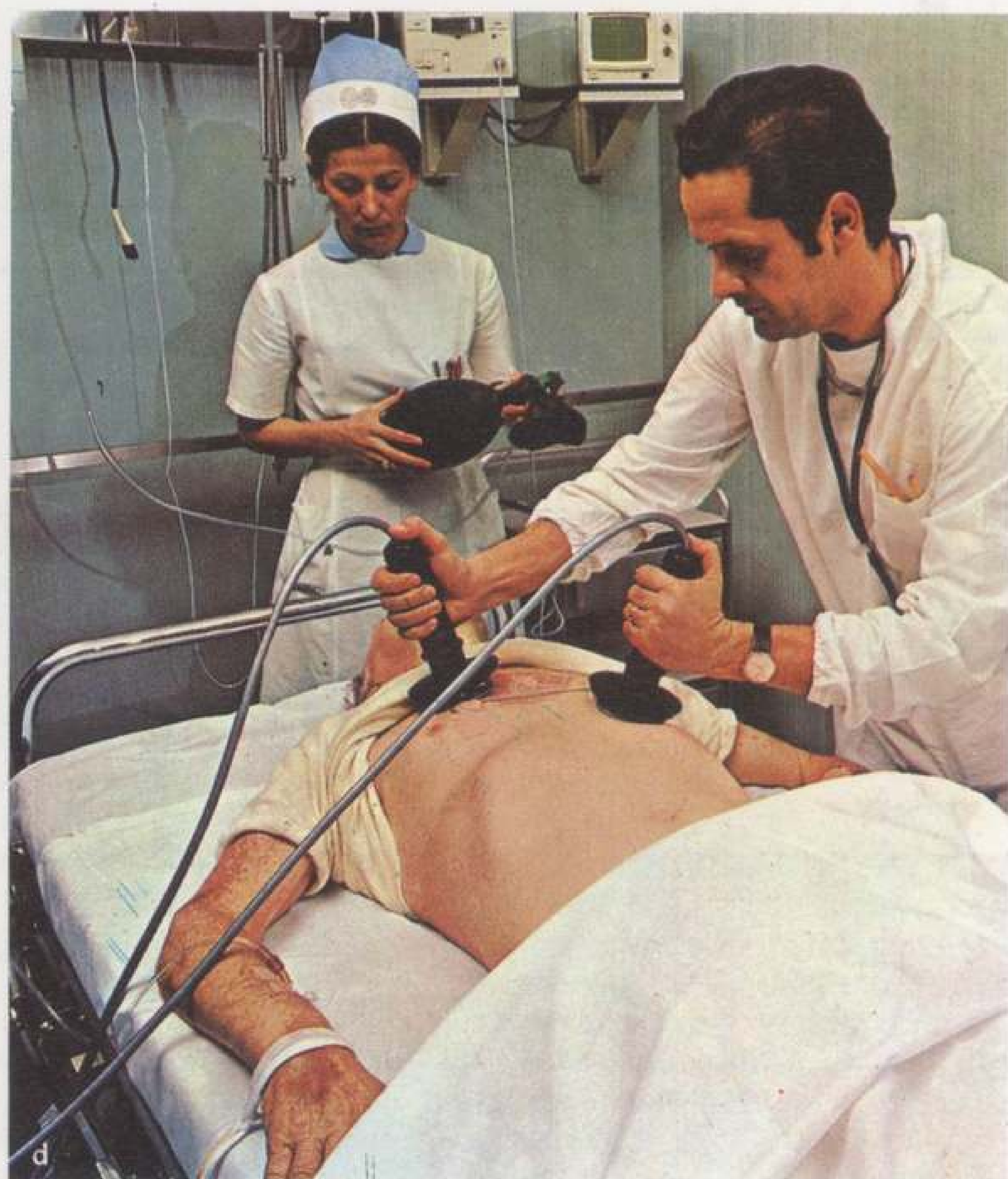
Fases de la respiración boca a boca: tender al paciente sobre la espalda e introducir una mano debajo de la nuca de manera que la cabeza se encuentre bien reclinada hacia atrás (1); comprimir la nariz del accidentado y apretar con las manos en la parte inferior del tórax para provocar la espiración (2). La respiración boca a boca debe ir precedida de la eliminación de los eventuales cuerpos extraños o de las secreciones que estén presentes en la boca. Debe, asimismo, comprobarse que la lengua no obstaculiza el paso del aire. Las maniobras de la respiración artificial se repiten varias veces (3, 4) hasta que el accidentado haya →



Técnica de la respiración Después de haber liberado las vías respiratorias hay que comprimir la nariz de la víctima con los dedos pulgar e índice. Esto impedirá la salida del aire que se va a introducir en la boca del paciente. Posteriormente, es preciso adherir perfectamente la propia boca a la boca del accidentado de manera que el aire no pueda escaparse hacia afuera (si se prefiere es posible colocar un pañuelo o una gasa sobre la boca de la víctima). Rápidamente, se debe insuflar profundamente en la boca de la víctima. Cuando se comienza a notar resistencia a la entrada del aire, al mismo tiempo que se ve elevarse el tórax del paciente, se separa la boca para permitir de esta manera que la víctima pueda espirar. Si el accidentado es un adulto, insuflar profundamente cada cinco segundos; si se trata de un niño, insuflar tras una inspiración normal cada tres segundos; si es un recién nacido insuflar brevemente y ligeramente cada tres segundos.

Si el aire que se introduce no penetra bien por la laringe llegará al estómago. En este caso se verá hincharse el estómago y lo que debe hacerse es rotar la cabeza del paciente hacia un lado y comprimir li-



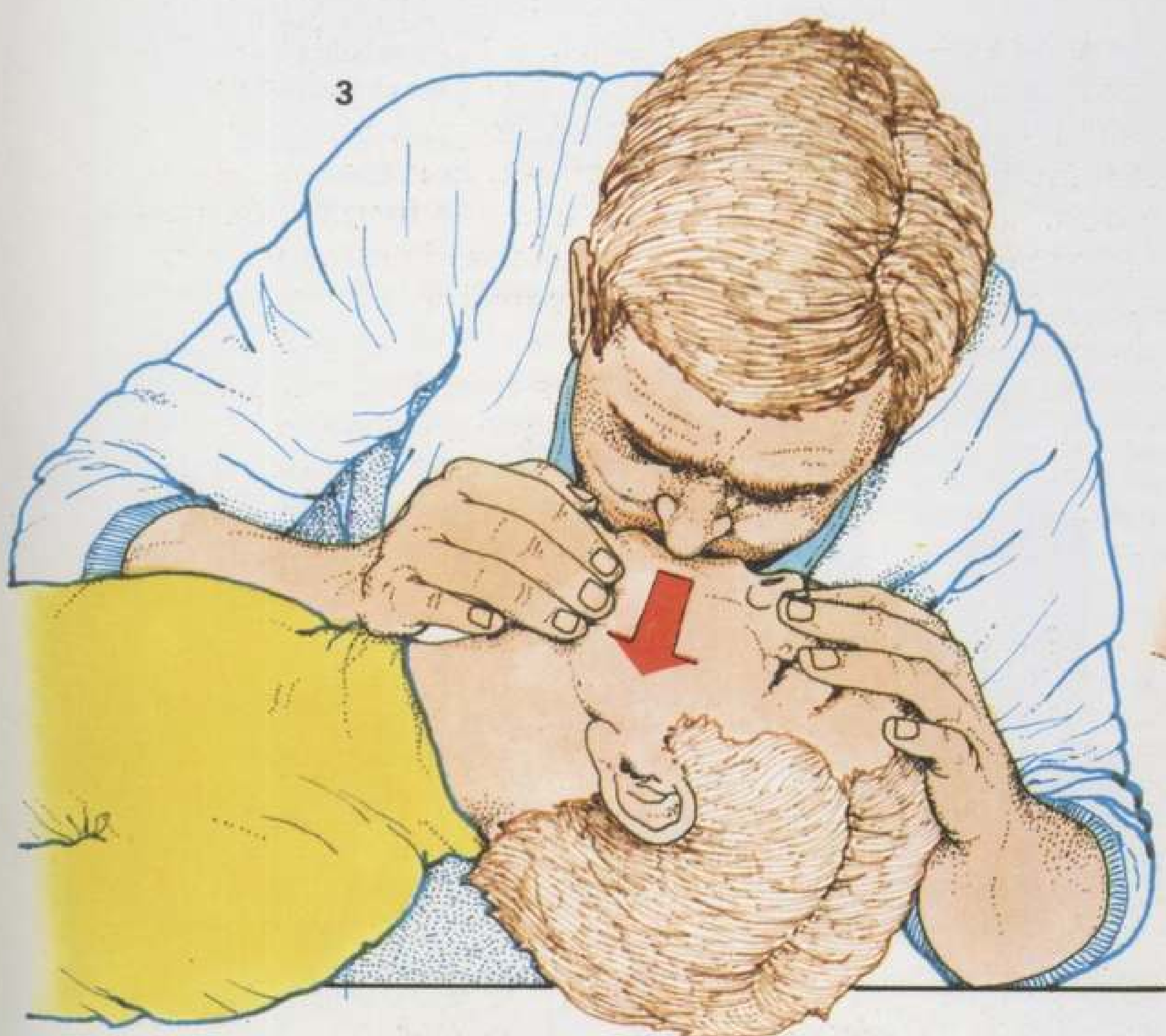


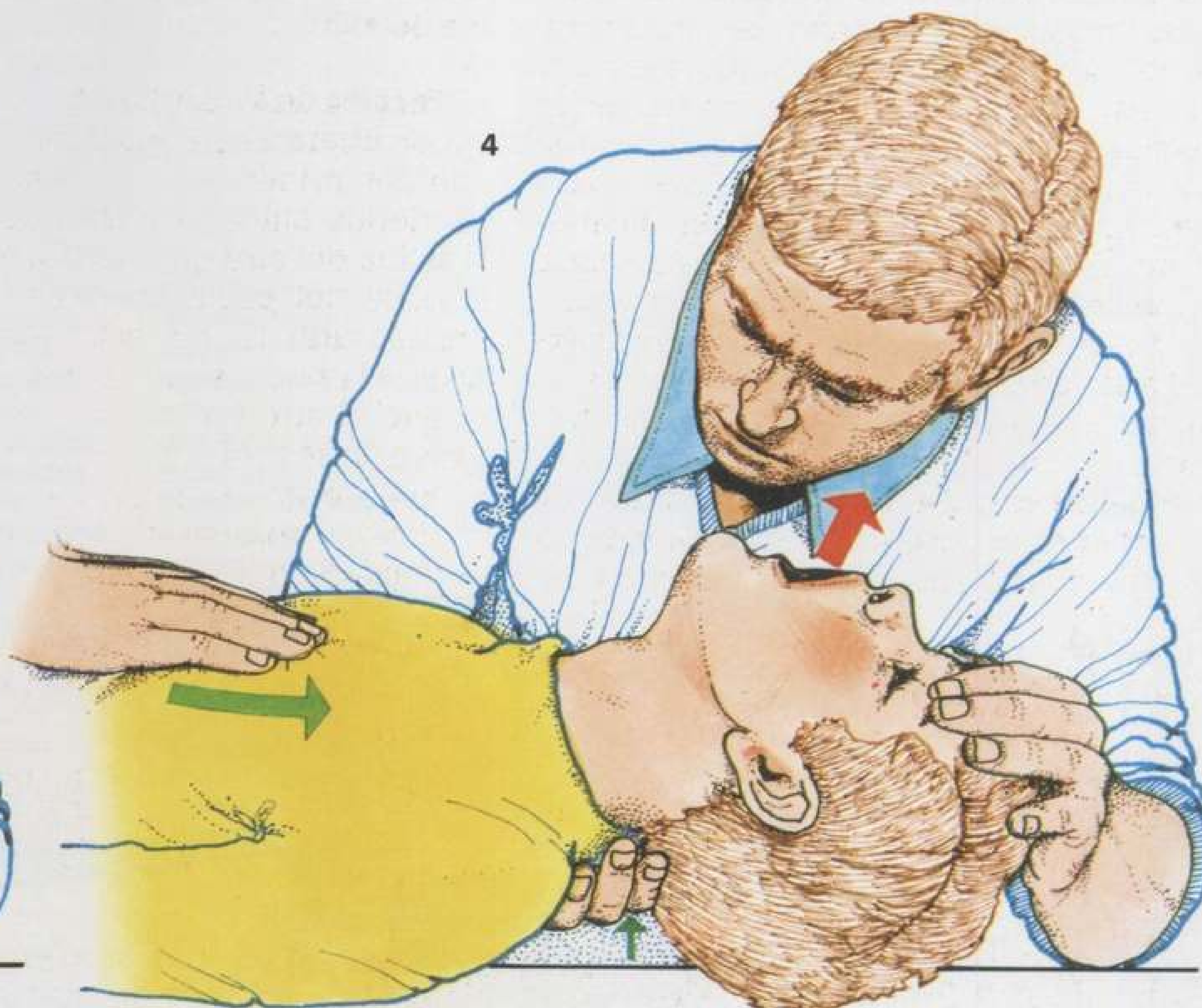


recuperado su respiración espontánea. En caso de que esto no suceda en un breve tiempo, y dado que hay que tener en cuenta que bastan unos pocos minutos de falta de oxigenación de los centros nerviosos para provocar graves daños, será necesario proceder al traslado inmediato del paciente a un hospital donde es posible actuar mediante intervenciones más eficaces, como la respiración artificial con respirador manual, el masaje cardíaco (página anterior, abajo y a la izquierda) y la desfibrilación eléctrica del corazón (abajo y a la derecha), con dos electrodos aplicados en el tórax.

Extender al paciente en posición prona (boca abajo) sobre una superficie plana, hacer rotar la cabeza hacia un lado y doblar los brazos hasta llevar las manos debajo de la cara. Arrodillarse delante de la cabeza de la víctima y apoyar las manos en el centro de la espalda, aproximadamente debajo de las escápulas. Colocar los pulgares sobre la columna vertebral y los demás dedos abiertos en abanico. Doblarse llevando el peso del cuerpo hacia delante, comprimir con los brazos extendidos hasta percibir una franca resistencia a la presión que se está ejerciendo. Dejar de presionar y hacer deslizarse las manos a lo largo de los brazos del accidentado hasta un poco por encima de los codos. Mientras tanto, llevar hacia detrás el peso del cuerpo sobre los talones, elevar los codos de la víctima y posteriormente llevar los brazos del paciente a su posición inicial.

Repetir el ciclo de presión y elevación hasta que el paciente se recobre, o bien





geramente el estómago para, de esta manera, liberarlo del aire.

Es preciso continuar la respiración hasta que el accidentado sea trasladado a un hospital o, como sucede en un alto porcentaje de casos, recupere la respiración espontánea, o bien hasta que sea verificado el fallecimiento por un médico.

La respiración boca a boca no es una técnica muy compleja, pero debe ser practicada exactamente como se ha descrito anteriormente. Los errores más frecuentes son: olvidarse de tener cerradas las fosas nasales de la víctima durante los intervalos de la respiración, no abrir suficientemente la boca del accidentado, no extender suficientemente hacia atrás la cabeza de manera que no se originen obstáculos para el paso del aire.

Métodos alternativos a la respiración boca a boca La respiración boca a boca no puede ser practicada en un accidentado con fracturas en la mandíbula o con ausencia de muchas piezas dentarias. Se puede, en estos casos, recurrir a la respiración boca a nariz, aplicando el mismo método que en la respiración boca a boca. Después de haber liberado las vías respiratorias, cerrar perfectamente la boca de la víctima con una mano y cubrir la nariz con la propia boca. Tras cada respiración, abrir la boca del paciente para permitir la espiración.

Si la víctima ha sufrido graves lesiones en la cara, que hacen también imposible la respiración boca a nariz, se puede recurrir al método de levantamiento de los brazos y presión sobre el tórax.

hasta que sea trasladado a un hospital o se determine su fallecimiento.

La respiración boca a boca es, de los tres métodos aquí descritos, el que ofrece las mayores ventajas: permite la introducción de la mayor cantidad de aire en los pulmones del accidentado en el tiempo más breve; el reanimador puede percibir los pulmones de la víctima expandiéndose; puede ver el tórax elevarse y notar el aire que sale hacia fuera durante la espiración, y, además, puede observar fácilmente la mejoría del paciente; y, por otra parte, se trata del método menos fatigoso de los tres descritos.

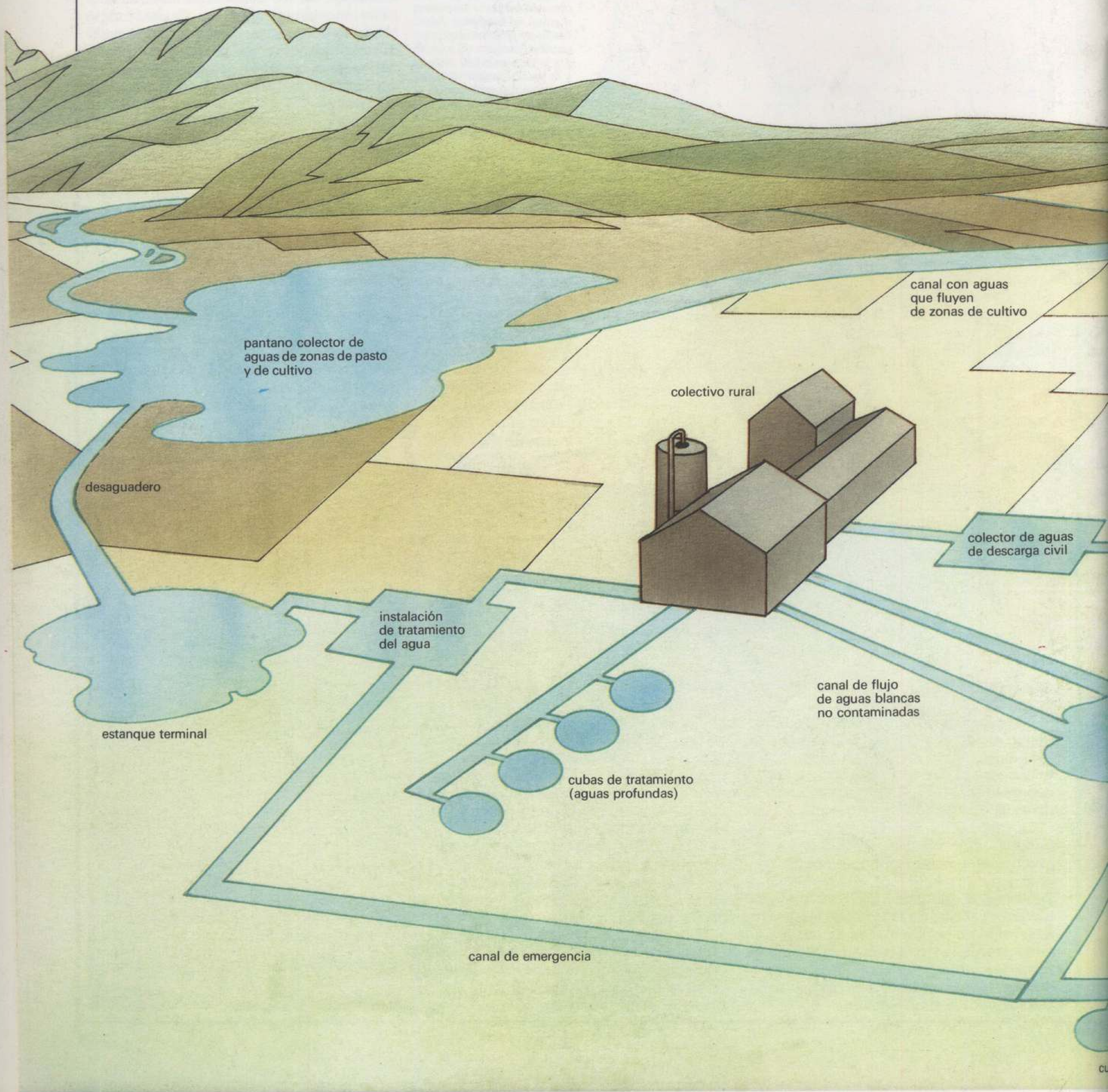
Véase **Primeros auxilios**

Reciclaje de desechos

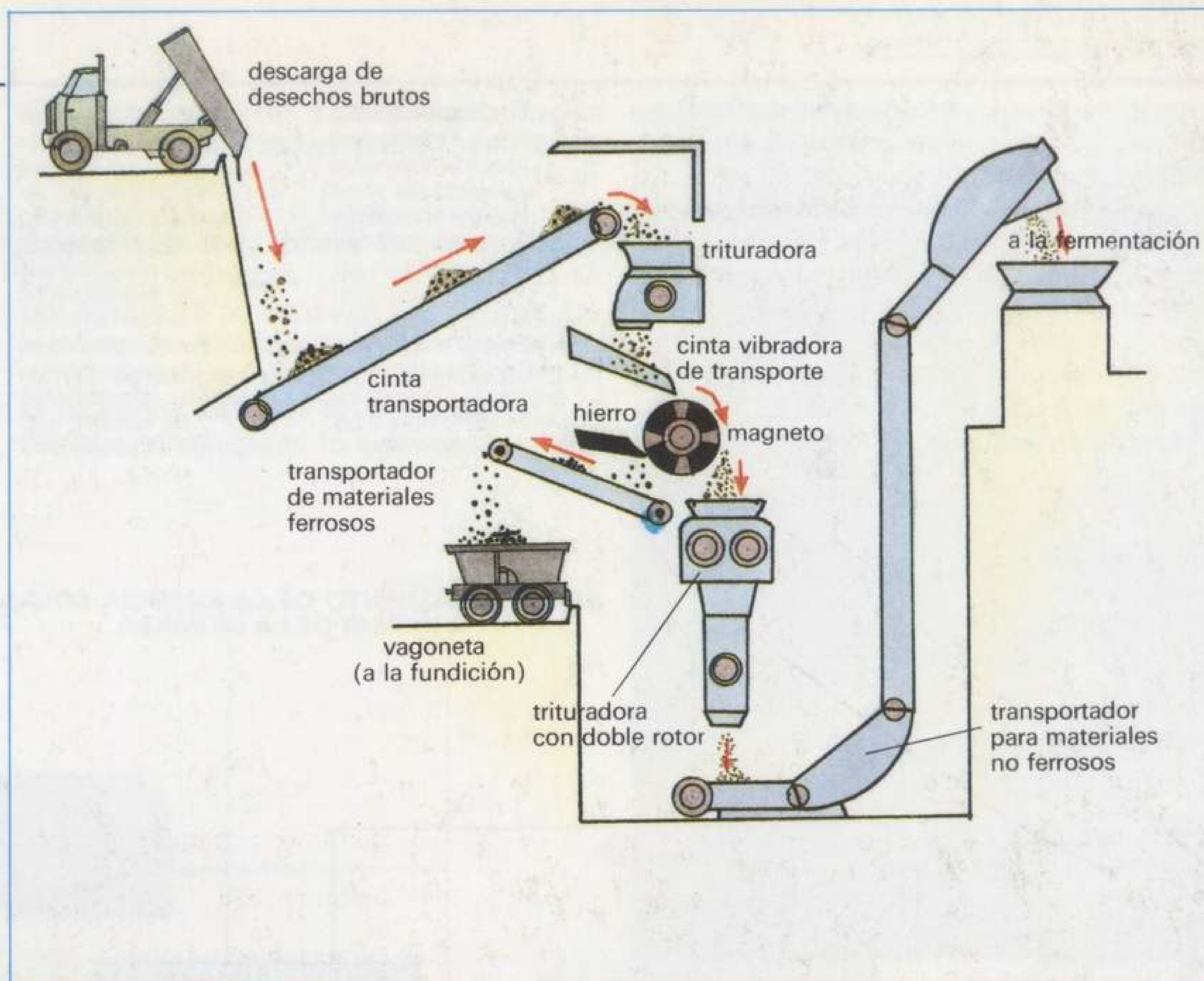
Según algunas estimaciones, una tonelada de papel reciclado permite ahorrar de 15 a 17 árboles, así como la energía que se obtiene de un barril de petróleo. En la sociedad moderna se producen miles de toneladas de desechos reciclables cada día, aunque solamente una décima parte de estos desechos son sometidos a procesos de reciclaje.

La posibilidad de recuperar una determinada materia para su reciclaje depende de varios factores, que incluyen desde los aspectos económicos hasta el nivel en que el medio ambiente pueda ser afectado por los vertidos de dicha materia. Uno de los aspectos más importantes del reciclaje es el tratamiento de los residuos domésticos con el fin de obtener a partir de ellos materiales tales como papel, metales, plásticos y vidrio.

Papel de reciclaje El papel reciclable puede dividirse en tres categorías: el papel de primera categoría incluye artículos de oficina (excepto el papel carbón), fichas perforadas, papel impreso, papel de embalaje y cartulina; el de segunda categoría comprende el papel de periódicos y revistas; y, por último, el de tercera categoría o papelote incluye cartones para embalaje de huevos y sobres con ventana de plástico. Aunque las técnicas para macerar las tres categorías de papel son similares, el proceso de reciclaje se realiza independientemente, sin mezclar productos pertenecientes a categorías diferentes. El coste de recuperación es relativamente elevado, sobre todo debido a las operaciones de recogida, clasificación y



Casi todas las actividades humanas comportan producción de desechos. En el esquema de abajo se representan las modalidades de uso y reutilización de las aguas empleadas en una zona agrícola. Las aguas depuradas en las instalaciones de tratamiento son ricas en sales nutritivas y se pueden utilizar de nuevo. A la derecha, el esquema técnico de una instalación para el tratamiento de desechos sólidos, concretamente para reciclaje del hierro y puesta en marcha de la fermentación del material orgánico.





transporte, que resultan excesivamente costosas.

Una vez clasificado, el papel se ata en balas que son trasladadas mediante camiones a la papelera. Allí se descargan sobre una cinta transportadora cuyas vibraciones sirven para nivelar la carga, de manera que las balas viajen con velocidad uniforme sobre las cintas hasta llegar a las máquinas de maceración, grandes contenedores en los que el papel se impregna de agua y se golpea hasta que se convierte en un líquido denso y granuloso llamado *pulpa*. Estas máquinas disponen de una gran cuchilla afilada que gira en el fondo de la cuba, de manera similar a como lo hacen las cuchillas de una batidora. En ese momento, la pasta está compuesta de un 99% de agua y un 1% de fibra; durante el proceso de blanqueado, el agua, a una temperatura de casi 70 °C, elimina la tinta de las fibras de papel, de manera que restablece el color natural. La pasta se hace pasar a través de unos rodillos, que comprimen las fibras y extraen el agua. Una vez exprimida toda el agua, el papel es prensado, atado en láminas de distinto espesor, según vaya a ser su utilización y, finalmente, secado con un secador, para después ser enviado a las distintas fábricas, donde el papel reciclado es utilizado para la elaboración de productos específicos. El papel de primera categoría se utiliza para hacer papel de seda, servilletas, pañales, cuadernos y otros productos de oficina, así como paneles aislantes y revestimientos como los utilizados en las viviendas y en los automóviles. De todo el papel de reciclaje, el que tiene un precio más elevado en el mercado es el de primera categoría. Se ha estimado que un empleado medio produce diariamente casi 0,2 kg de papel de desecho de primera categoría.

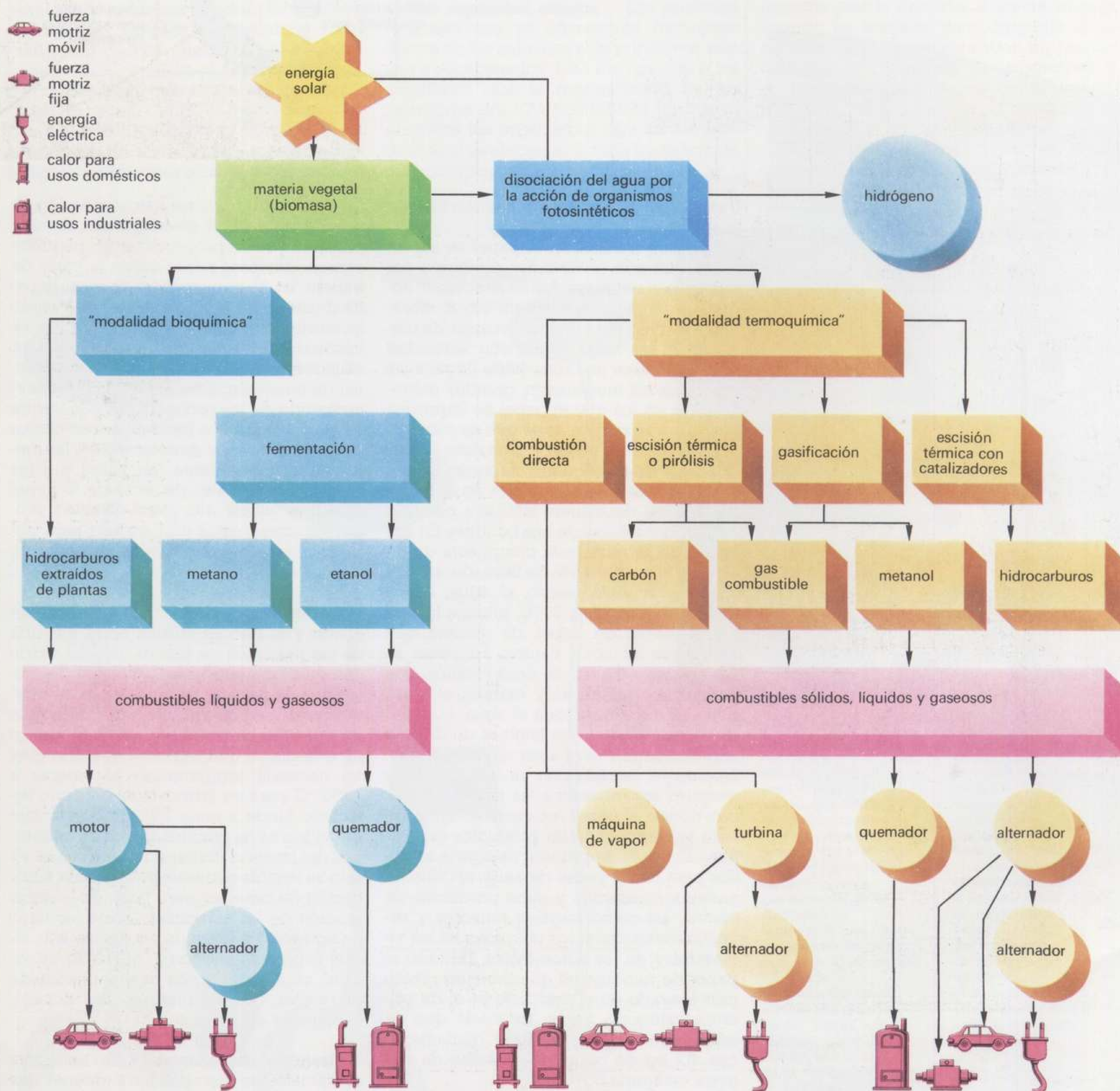
Los programas colectivos de recogida de papel para reciclaje han constituido un gran éxito a nivel de empresas. A cada empleado se le proporciona un pequeño contenedor para poner sobre la mesa de trabajo, en el que deposita todo el papel de desecho de primera categoría. Pasado un cierto tiempo, los empleados vacían los contenedores en recogedores centrales, situados en lugares apropiados. El personal de mantenimiento del edificio retira el contenido de los recogedores y lo vende a las papeleras. Los periódicos reciclados se pueden vender directamente a las empresas de tratamiento del papel o a los centros comerciales de reciclaje. El papel mixto se utiliza aún para distintos productos, como cajas de cartón, o para obtener hojas rígidas como las utilizadas en la construcción.

Reciclaje del vidrio El vidrio desechado y el roto se utilizan en la mayoría de los procesos de fabricación del vidrio como componentes de la mezcla de materiales de partida. La fabricación de nuevos productos de vidrio a partir del vidrio de desecho ha permitido un gran ahorro de energía ya que, mientras el vidrio nuevo necesita temperaturas superiores a 1.450 °C para su fabricación, el vidrio reciclado funde a unos 760 °C. El reciclaje del vidrio se ha practicado desde los tiempos del Imperio Romano. Hoy en día, el vidrio se recicla generalmente para la fabricación de botellas; pero también la señalización de las autopistas (como los faros reflectantes) a menudo se realiza con vidrio reciclado, así como "el asfalto de vidrio", un nuevo tipo de pavimentación de carreteras, que resultan así más duras y resistentes al desgaste.

Reciclaje del aluminio Se necesitan 46.000 latas de aluminio para obtener una tonelada de dicho metal; no obstante, el

precio en el mercado de este material es tan elevado que el reciclaje del aluminio ha sido siempre una actividad en auge. Se reciclan todo tipo de objetos que puedan contener aluminio: las sillas, los marcos de las ventanas, cacharros y sartenes, revestimientos y aparatos para piscinas, etc. La primera operación de reciclaje del aluminio consiste en utilizar magnetos para remover cada partícula de hierro y acero presente en la chatarra. Después, el aluminio se desmenuza y se funde en hornos eléctricos, pudiendo ser nuevamente utilizado.

Si puede ser usado, ¿por qué tirarlo? En las calles de las grandes ciudades y en los vertederos públicos es frecuente ver cómo entre los desperdicios se amontonan estufas, frigoríficos, pequeños armarios de metal y otros electrodomésticos. El hierro, el acero y el cobre contenidos en estos aparatos pueden ser todos ellos reciclados. En la actualidad se estudia el modo de separar artículos útiles de los desperdicios domésticos e industriales. Los plásticos y los materiales orgánicos, por ejemplo, contienen microcarburos que se emplean para fabricar petróleo y gas y que se destruyen por combustión; su separación de las basuras es, pues, imprescindible. Aunque no se pueda decir que la conservación de los recursos natu-



rales sea una preocupación exclusivamente reciente, el reciclaje, como aquí lo describimos, apareció repentinamente en escena hacia el final de los años sesenta, como consecuencia de la crisis económica mundial y del encarecimiento de las materias primas.

Véase **Biomasa; Contaminación; Papel, fabricación de**

En la página anterior: el uso del material vegetal que deriva de la fotosíntesis clorofílica (biomasa) puede permitir, a través de distintas modalidades de transformación, la producción de combustibles de composición variada, que pueden ser utilizados por máquinas e instrumentos de gran importancia para la actividad humana. Entre los desechos sólidos de mayor importancia están los residuos de la remolacha azucarera (a la derecha) y otros numerosos materiales constituidos por fibra de celulosa. También las instalaciones para la fabricación del papel →



→ dan lugar a fibras de lignina como desperdicio. Se trata de polímeros de glucosa que luego se transforman. Los sistemas de reciclaje de tales desechos permiten despolimerizar los compuestos de la glucosa y obtener así un sustrato muy preciado que se puede someter a fermentación micróbica y, posteriormente, separar hasta obtener materiales de base para la industria química y combustibles. El objetivo principal es, por lo tanto, el ahorro.

ACIDO
MADERA
AGUA
AIRE
ADITIVOS
DISOLVENTE (reintegro)
HIDROLISIS 1
EXTRACCION LIQUIDA
SEPARADOR 1
FERMENTACION
PRODUCTOS
CO_2
LEVADURAS EN EXCESO (alim. anim.)
PRETRATAMIENTO
DESTILACION
ETANOL
HIDROLISIS 2
METANACION
CO_2 METANO
SEPARADOR 2
SEPARADOR 3
DESCARGA
RECICLAJE DEL DISOLVENTE
SEPARADOR 4
OXIDACION EN FASE ACUOSA
EXTRACCION LIQUIDA 1
FRACCIONAMIENTO DE ACIDOS Y RECUPERACION DEL DISOLVENTE
ácido acético, ácido fórmico, furfural, metanol
AL PROCESO
CO_2 N_2
VAPOR
VAPOR EN EXCESO
AGUA

A la izquierda, esquema de la producción de alcohol (etanol) y otros productos a partir de biomasa vegetal constituida, en gran parte, por lignina y celulosa. El uso de los desechos de madera y papel, a menudo quemados como desperdicios, permite reciclar un importante recurso energético y ahorrar así combustibles de coste mucho mayor, como son el petróleo y el gas natural.

Rectificación y pulido

¿Qué diferencia existe entre un cristal de ventana y una lente? Ambos son transparentes y permiten el paso de la luz. El cristal de una ventana sin embargo es plano, mientras que una lente tiene las superficies curvas: de esta forma desvía los rayos luminosos que le llegan procedentes de los objetos y los dirige hacia un punto llamado foco, donde se forma una imagen real de éstos. Con el fin de obtener esas superficies curvas el cristal debe ser rectificado y, seguidamente, alisado mediante las operaciones de *pulido* y *lapeado* o *abrillantado*. Cuanto más precisa deba ser la lente, tanto más lisa debe resultar su superficie. Un cristal común, como el de una ventana, admite una rugosidad del orden de 0,25 milímetros, mientras que las lentes de unas gafas deben tener rugosidades cien veces menores, pudiéndose alcanzar, en lentes de uso científico, rugosidades inferiores a unas trescientas milésimas de milímetro.

Sin embargo, todas las lentes se rectifican y se lapean de la misma forma. Realmente el proceso de mecanización de las lentes se ha conservado igual desde el siglo XVI, aunque las modernas instalaciones automáticas permiten reducir los tiempos de mecanización y hacen posible una masificación de la producción.

Los procesos de rectificación, pulido y lapeado se aplican, además de en la fabricación de lentes, en la elaboración de piezas mecánicas metálicas en las que es necesario obtener una elevada precisión.

Rectificación El *rectificado* o *rectificación* es una operación que tiene por objeto alcanzar tolerancias muy estrictas en las dimensiones, así como una elevada calidad del acabado superficial.

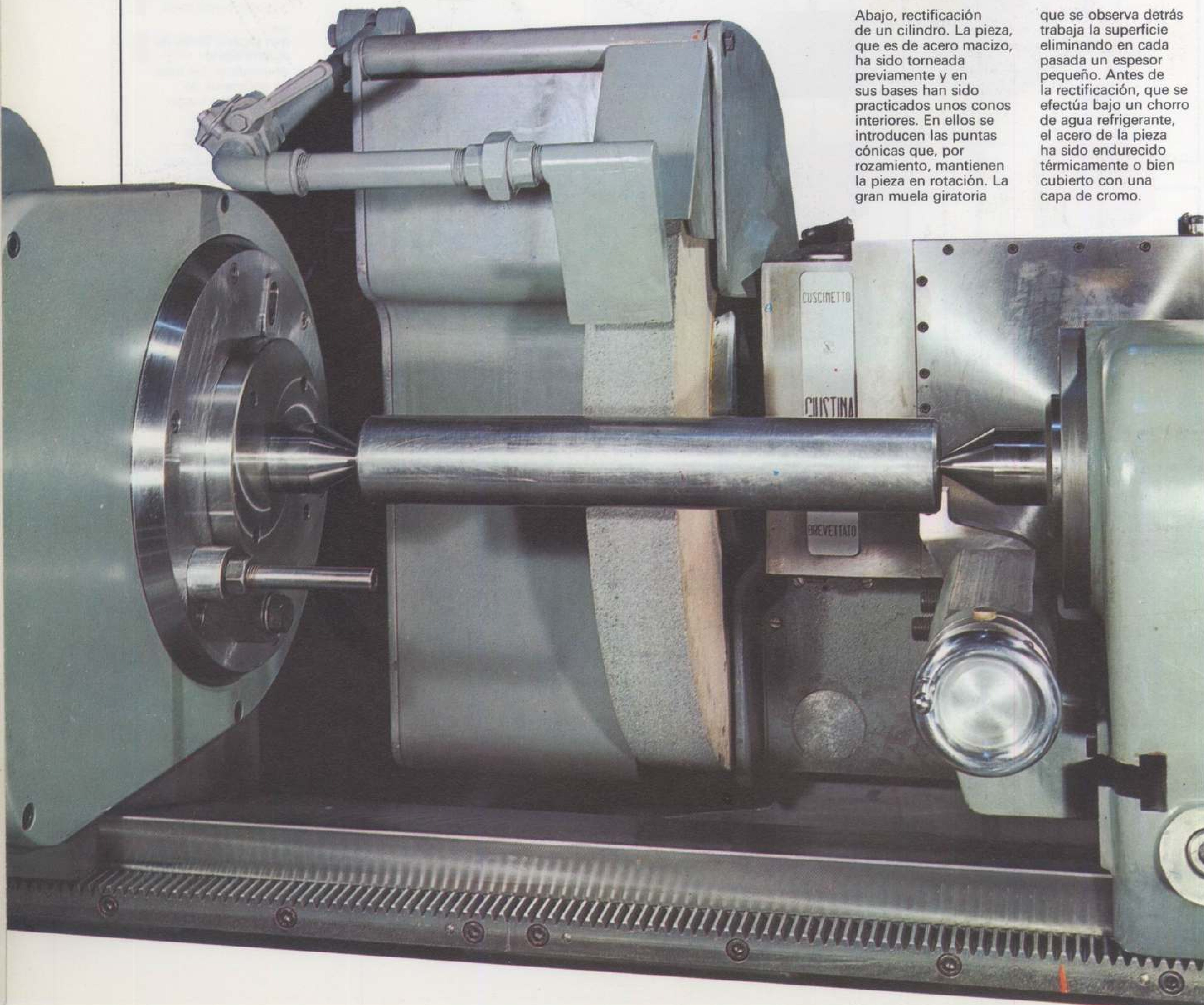
Las máquinas rectificadoras para piezas metálicas consisten básicamente en un bastidor que contiene una muela giratoria compuesta por granos abrasivos muy duros y resistentes al desgaste y a la rotura. El grano, que gira a gran velocidad (15.000-30.000 r.p.m.) y cuyo movimiento con respecto a la pieza es de una gran precisión, arranca minúsculas partículas de material.

Existen diferentes tipos de máquinas rectificadoras según las aplicaciones: para superficies planas, para superficies cilíndricas exteriores, para interiores y rectificadoras universales.

La rectificadora para superficies planas es el tipo más simple, y consiste en una rueda de material abrasivo que gira a gran velocidad y que va montada sobre una mesa provista de movimiento alternativo o de rotación. La rueda se pone en movimiento y se aproxima lentamente a la superficie de la pieza que ha de rectificarse. Esta última debe sujetarse, previamente, mediante un plato magnético de fijación.

Durante la rectificación, la muela y la pieza son abundantemente regadas con un chorro de agua destinado a refrigerar y a eliminar los residuos.

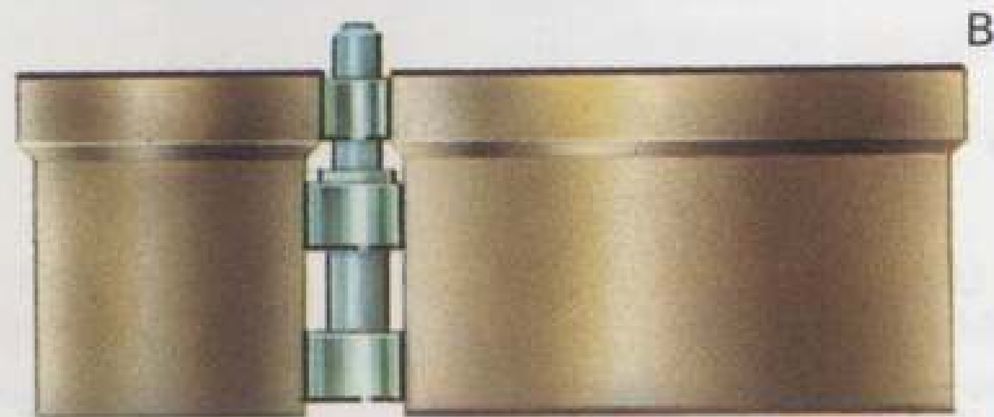
En la fabricación de lentes, el abrasivo está compuesto por corindón (cristalizado de óxido de aluminio, de origen natural) o por polvos de esmeril humedecidos (óxido de aluminio con impurezas de hierro). Pueden ser necesarias dos o tres operaciones de rectificación sucesivas para la



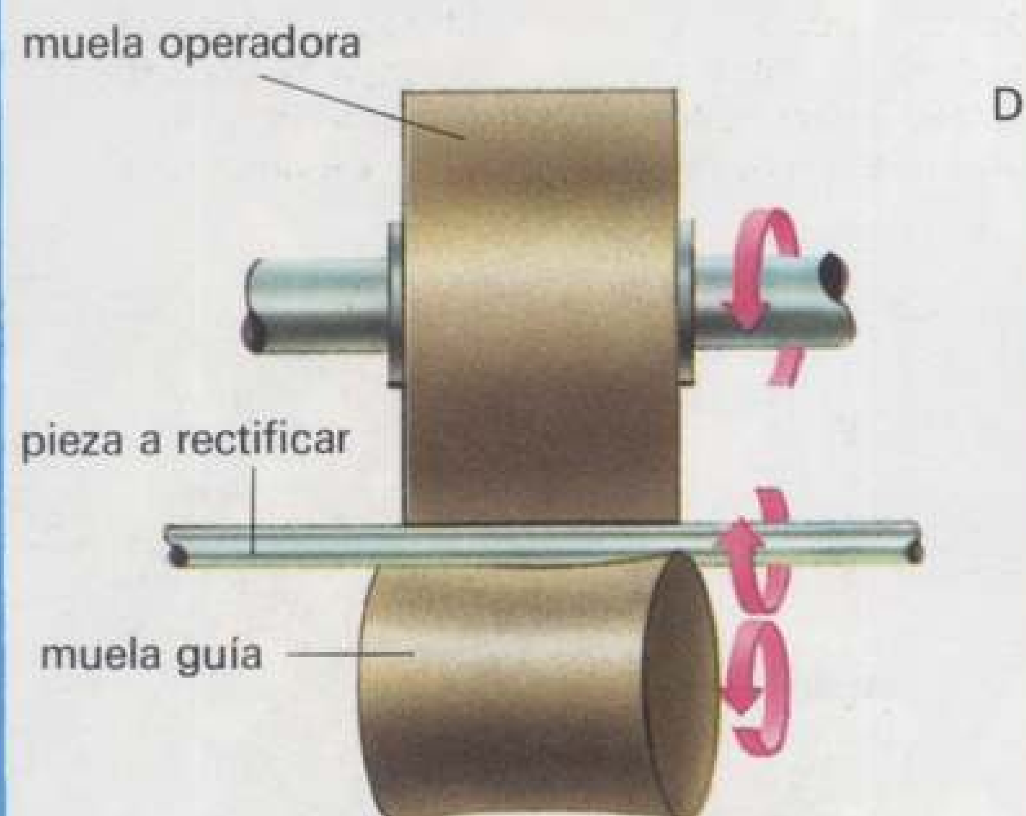
Abajo, rectificación de un cilindro. La pieza, que es de acero macizo, ha sido torneada previamente y en sus bases han sido practicados unos conos interiores. En ellos se introducen las puntas cónicas que, por rozamiento, mantienen la pieza en rotación. La gran muela giratoria que se observa detrás trabaja la superficie eliminando en cada pasada un espesor pequeño. Antes de la rectificación, que se efectúa bajo un chorro de agua refrigerante, el acero de la pieza ha sido endurecido térmicamente o bien cubierto con una capa de cromo.



MUELAS DE SUPERFICIE PERFILADA

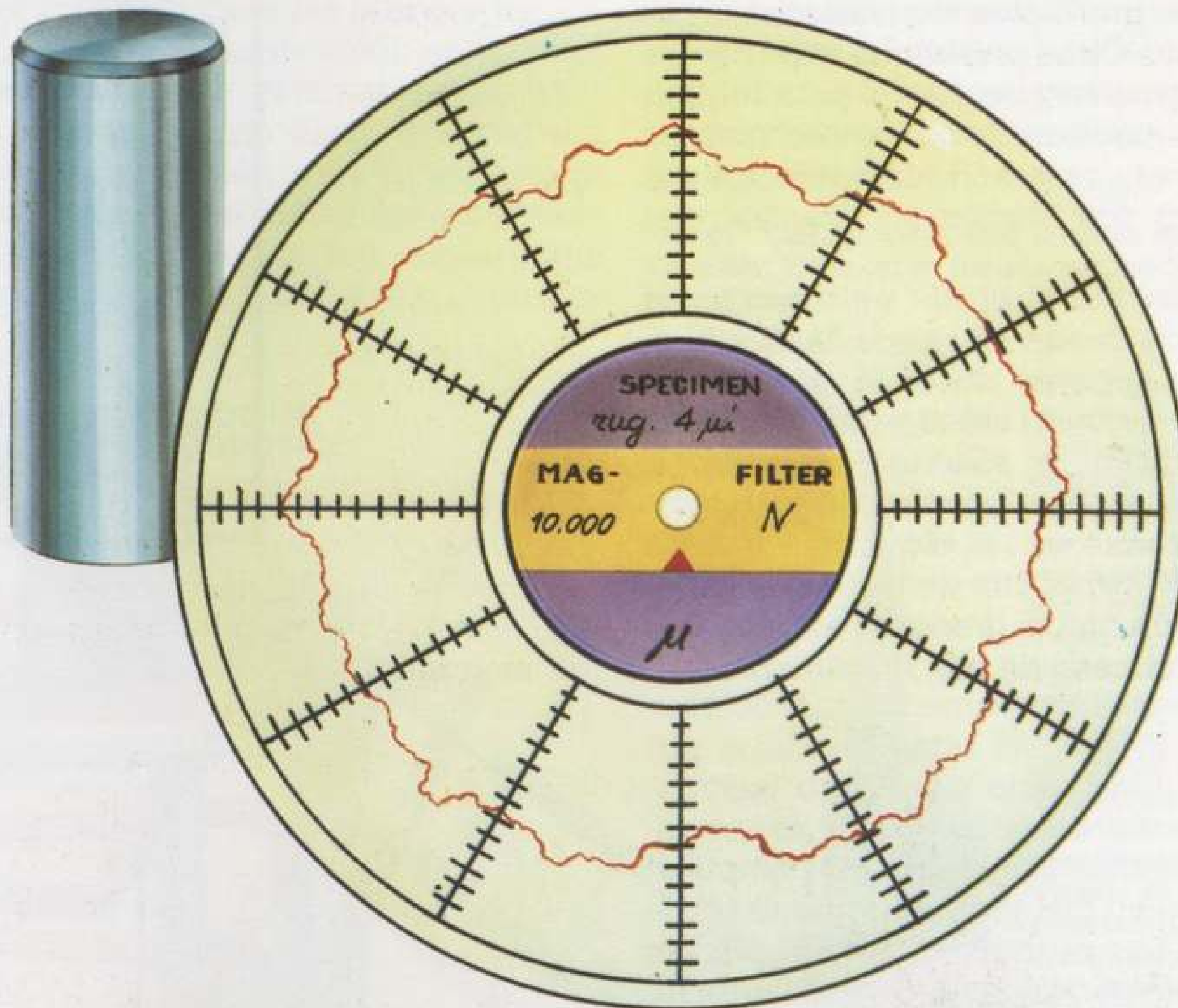






La rectificación de largas barras cilíndricas para trabajos mecánicos corrientes se efectúa por rectificación sin centros: la pieza es sujetada mediante un apoyo colocado entre dos muelas (A). En B, se aprecia la rectificación sin centros sobre dos muelas perfiladas; en C, la pieza gira como consecuencia de la diferencia de velocidades entre las dos muelas. En D, la muela inferior hace avanzar la pieza.

Abajo vemos un eje cilíndrico rectificado. Tras la elaboración ha sido tratado con una máquina que ha medido su perfil circular y reducido diez mil veces su rugosidad. El disco que vemos a su lado indica el diagrama radial de la medida. La distancia entre las marcas corresponde a una milésima de milímetro. Como puede verse en este caso, la rugosidad no pasa de cuatro milésimas de milímetro. Esta precisión, o bien una ligeramente superior, son normales en un trabajo de rectificación llevado a cabo con abrasivos finos; si se desea obtener una pieza con menor rugosidad se utilizan muelas especiales de gran finura o bien se recurre al lapeado, efectuado con muelas también muy finas o con superficies blandas de fieltro, como en los trabajos ópticos (abajo).





terminación de la lente. El pulido y el lapeado completan el acabado superficial.

Pulido Para obtener un óptimo acabado de las piezas procedentes de las operaciones de rectificado se emplean máquinas pulidoras que trabajan por aplicación de la pieza a una superficie abrasiva móvil, normalmente giratoria. Las pulidoras trabajan con piezas abrasivas de grano muy fino que reducen las crestas o las imperfecciones sin modificar apreciablemente las dimensiones del objeto (el espesor del material arrancado resulta inferior a 5 micras).

La superficie abrasiva para pulir piezas metálicas puede ser de diversos tipos: bruñidor de acero, que se utiliza para el acabado de metales blandos y de revestimientos galvánicos; tambores giratorios cargados de bolas de acero o arena; cepillos de fibra; muelas de cuero o de fieltro, con las que se pueden utilizar diversos agentes abrasivos, como polvo esmeril, piedra pómez o pasta de pulir; y muelas de franela o lana, sobre las que se aplica el abrasivo (óxido crómico, sílice, etc.).

Lapeado El proceso de acabado de una superficie por abrasión muy fina, con objeto de que adquiera ciertas tolerancias de rugosidad, se denomina *lapeado*. En este proceso se utilizan máquinas especiales que trabajan con polvos abrasivos finísimos, por lo general, en suspensión sobre una película de fluido denso (aceite o petróleo) comprimida entre la superficie de la pieza y la superficie de la herramienta. Esta, denominada lapeador o bruñidor, está construida con material blando que favorece la retención de la carga de polvo abrasivo.

Véase **Control de procesos industriales; Herramientas y máquinas-herramienta; Lente; Metales, trabajo de los**

Refino del petróleo

Hasta principios del siglo XX, el producto más importante que se extraía del petróleo era el queroseno (que se utilizaba fundamentalmente para el alumbrado), mientras que la gasolina, demasiado volátil para emplearla con idénticas aplicaciones, no tenía ningún valor. Posteriormente, durante la mayor parte de este siglo, la gasolina se convirtió en uno de los principales productos derivados del petróleo crudo. Otros productos importantes que se extraen hoy en día del petróleo son los aceites combustibles, los carburantes para motores a reacción, los productos petroquímicos, los aceites lubricantes y el asfalto.

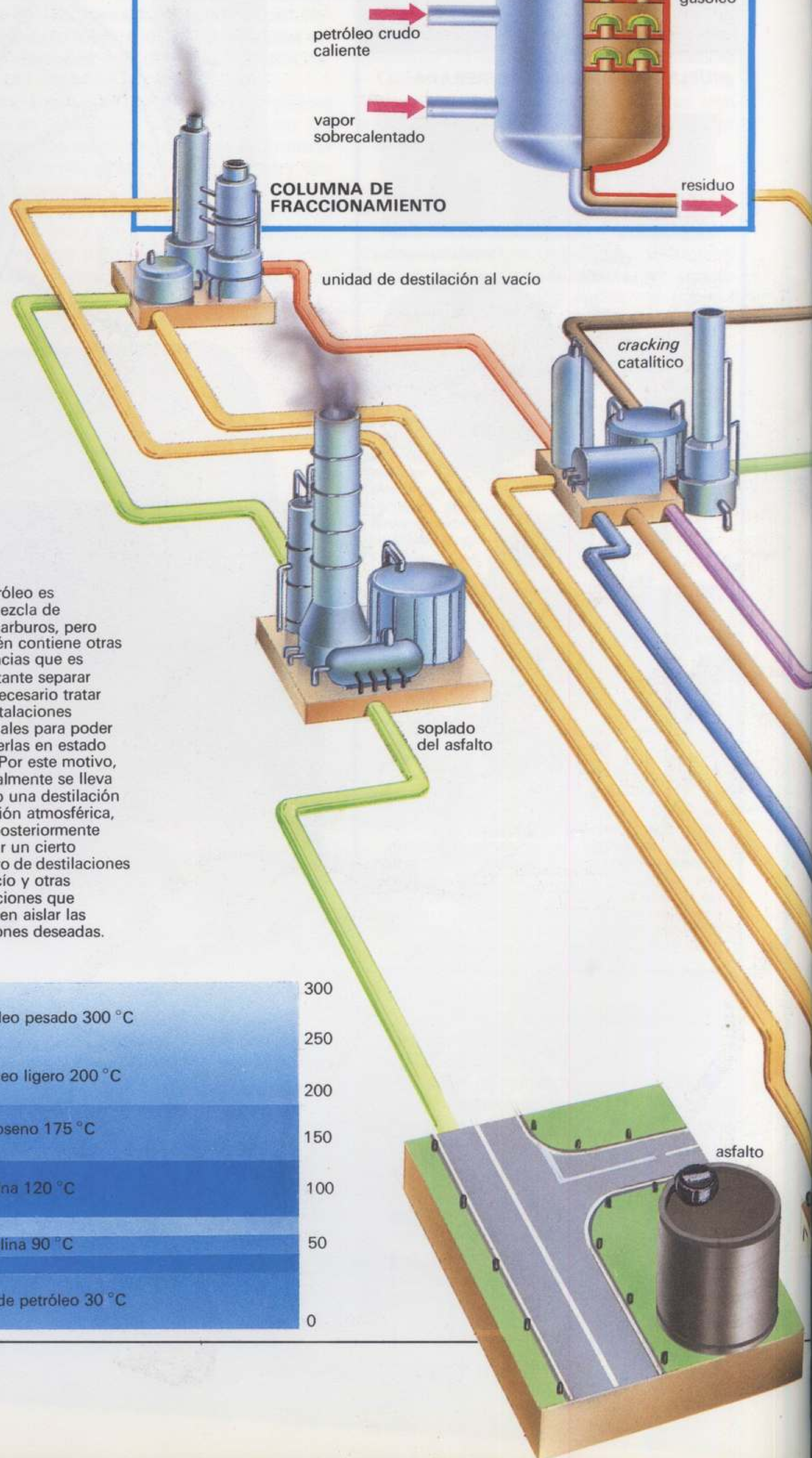
Antes de que el crudo petrolífero sea transportado desde los pozos hasta las refinerías, se separan de él el gas natural (metano), el agua, la arena y todas las otras posibles sustancias sólidas que se hayan extraído del subsuelo junto con el mismo. Estas operaciones se efectúan en unos tanques apropiados de decantado y en separadores de gas. El crudo petrolífero que llega a la refinería es una mezcla de compuestos orgánicos, llamados hidrocarburos, cuyas moléculas están formadas por átomos de hidrógeno y carbono. Las moléculas de dichos compuestos tienen diferentes tamaños, por lo que los compuestos presentan distintas temperaturas de ebullición. Los productos que se destilan del crudo son, simplemente, mezclas de hidrocarburos cuyas temperaturas de ebullición oscilan dentro de los límites de un campo de variación específico.

Destilación fraccionada El proceso fundamental que se lleva a cabo en las refinerías de petróleo es la destilación fraccionada. El crudo petrolífero, después de haber sido calentado en un horno, se bombea hacia una torre de fraccionamiento que está constituida por un gran cilindro cuya altura puede alcanzar los 45 metros. La destilación en fracciones se lleva a cabo utilizando la distinta densidad de los compuestos integrantes, cada uno de los cuales se condensa, por tanto, a una altura diferente de la torre.

El éter de petróleo y las gasolinas son extraídas en los niveles superiores. En la parte inferior de la torre se obtienen, sucesivamente, las naftas, el queroseno, el gasóleo, combustibles para calefacciones y aceites lubricantes. Como resto, en la caldera de destilación quedan aceites pesados y asfaltos, que también tienen aplicación.

Cracking En 1913 se descubrió un procedimiento, llamado *cracking térmico*, que permitía producir gasolina extrayéndola del crudo. En el *cracking* térmico, las moléculas de los hidrocarburos de más peso se someten a temperaturas y presiones muy elevadas que provocan su ruptura, obteniéndose así carburantes más ligeros. El *cracking catalítico*, que requiere menos energía, se desarrolló después de 1930. En este tipo de *cracking* se emplean unos catalizadores de naturaleza química,

Torre para la destilación del petróleo. Está formada por una serie de platos que dividirían completamente la columna en distintos niveles si no fuese porque cada uno de ellos tiene una serie de orificios que permiten la ascensión de los vapores, pero impiden la bajada del líquido. El calentamiento de la torre produce la ebullición y la evaporación del líquido. El vapor asciende llevando consigo las fracciones más ligeras, mientras que un sistema especial de válvulas de sobrellenado permite al líquido bajar progresivamente desde un plato al inmediatamente inferior. Como esto se produce después de que haya perdido la fracción más ligera, en la zona inferior se recogerá la más pesada. Por la derecha se extraen las fracciones útiles.



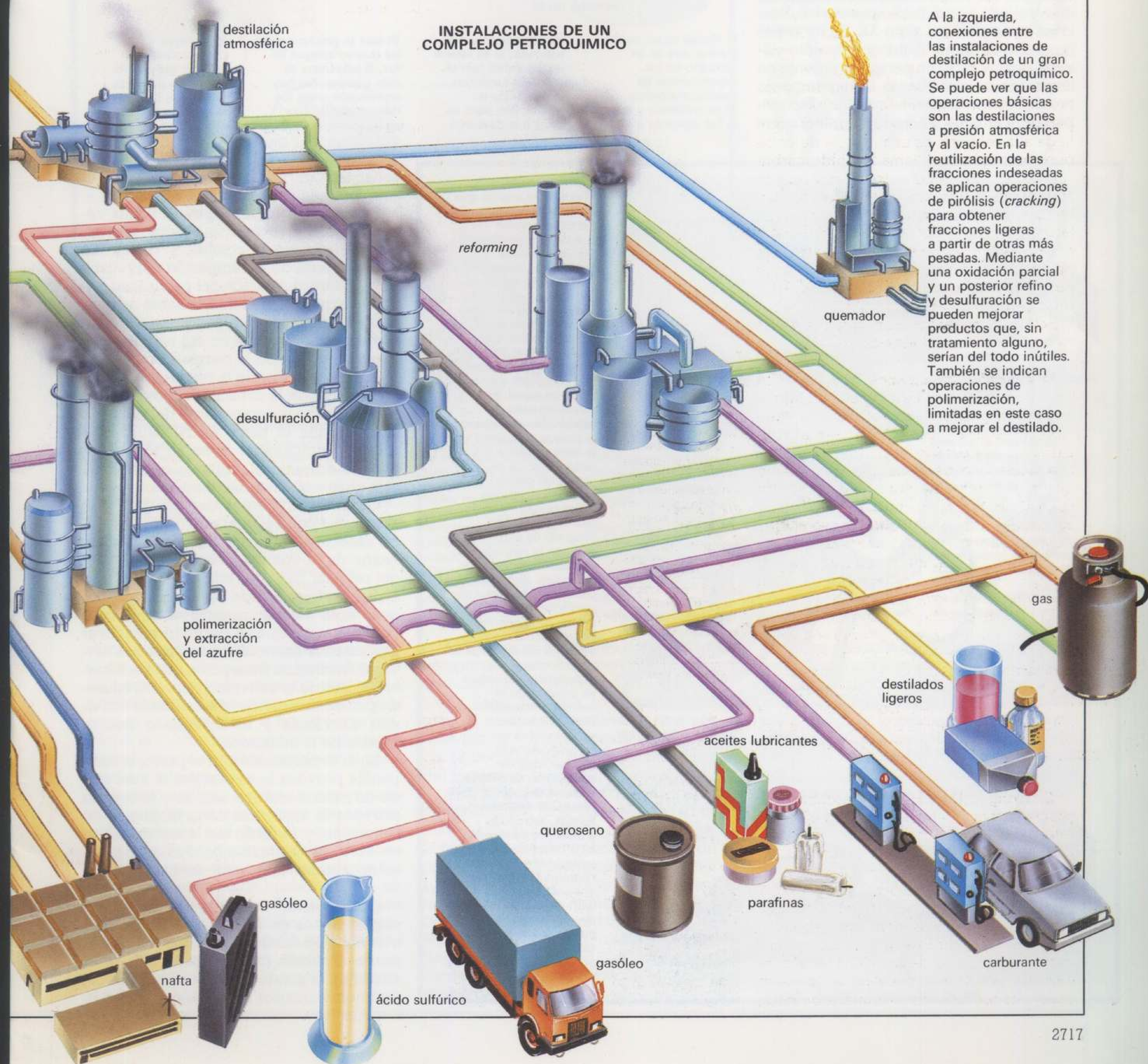
El petróleo es una mezcla de hidrocarburos, pero también contiene otras sustancias que es importante separar y es necesario tratar en instalaciones especiales para poder obtenerlas en estado puro. Por este motivo, generalmente se lleva a cabo una destilación a presión atmosférica, para posteriormente realizar un cierto número de destilaciones en vacío y otras operaciones que permiten aislar las fracciones deseadas.

como los aluminosilicatos, los magnesiosilicatos y el platino, que contribuyen, de la misma forma pero a menor temperatura, a transformar en gasolina los hidrocarburos pesados. En esta transformación se requiere la intervención del hidrógeno gaseoso.

En la *polimerización*, proceso químico que se podría considerar como el opuesto al *cracking*, los hidrocarburos ligeros (como los gases que se recogen en la parte más alta de la torre de destilación), se "funden" entre sí para formar compuestos más pesados, utilizados como carburantes para motores.

El proceso final que se realiza en las refinerías de petróleo consiste en la eliminación de las impurezas químicas de los productos extraídos. Uno de estos procesos, llamado *extracción con disolventes*, que se utiliza particularmente para los aceites lubricantes, consiste en introducir en la fracción deseada unos disolventes especiales que disuelven las partículas extrañas. Posteriormente, el disolvente, junto con las impurezas por él arrastradas, es separado de los aceites lubricantes. En otros procesos de purificación se emplea ácido sulfúrico para eliminar de las fracciones ligeras de los hidrocarburos los compuestos que darán origen a las gomas; A continuación, se eliminan los compuestos corrosivos tanto de los carburantes como de los aceites lubricantes. El proceso de *reforming* o reformado es uno de los más importantes que se llevan a cabo en las refinerías. Se utiliza para mejorar el número de octanos de los destilados ligeros (gasolina), que en general es preciso elevar. El proceso consiste concretamente en someter los destilados a temperaturas entre 500 y 525 °C en presencia de catalizadores (platino sobre un soporte de alúmina de elevada pureza). También se puede mejorar el poder antidetonante mediante la adición de algunos compuestos, como el plomo tetraetilo, el benzol, las olefinas y el alcohol.

Véase **Gas natural; Gases licuados del petróleo; Gasolina; Perforación petrolífera; Petróleo; Petroquímica**

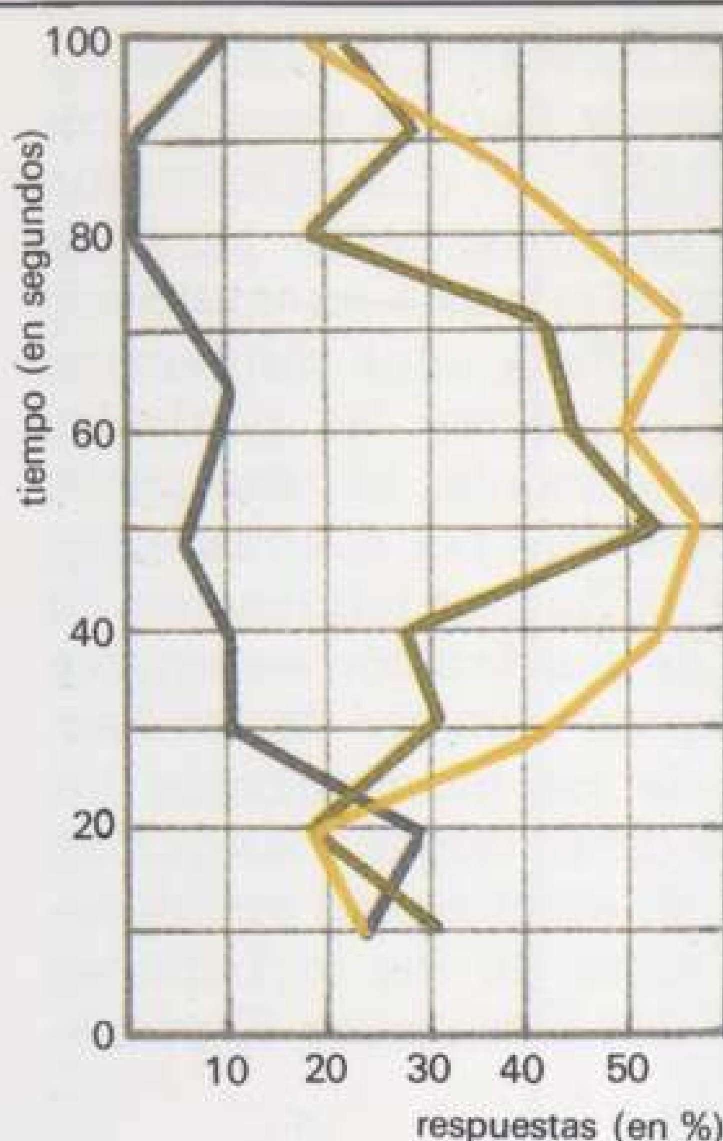


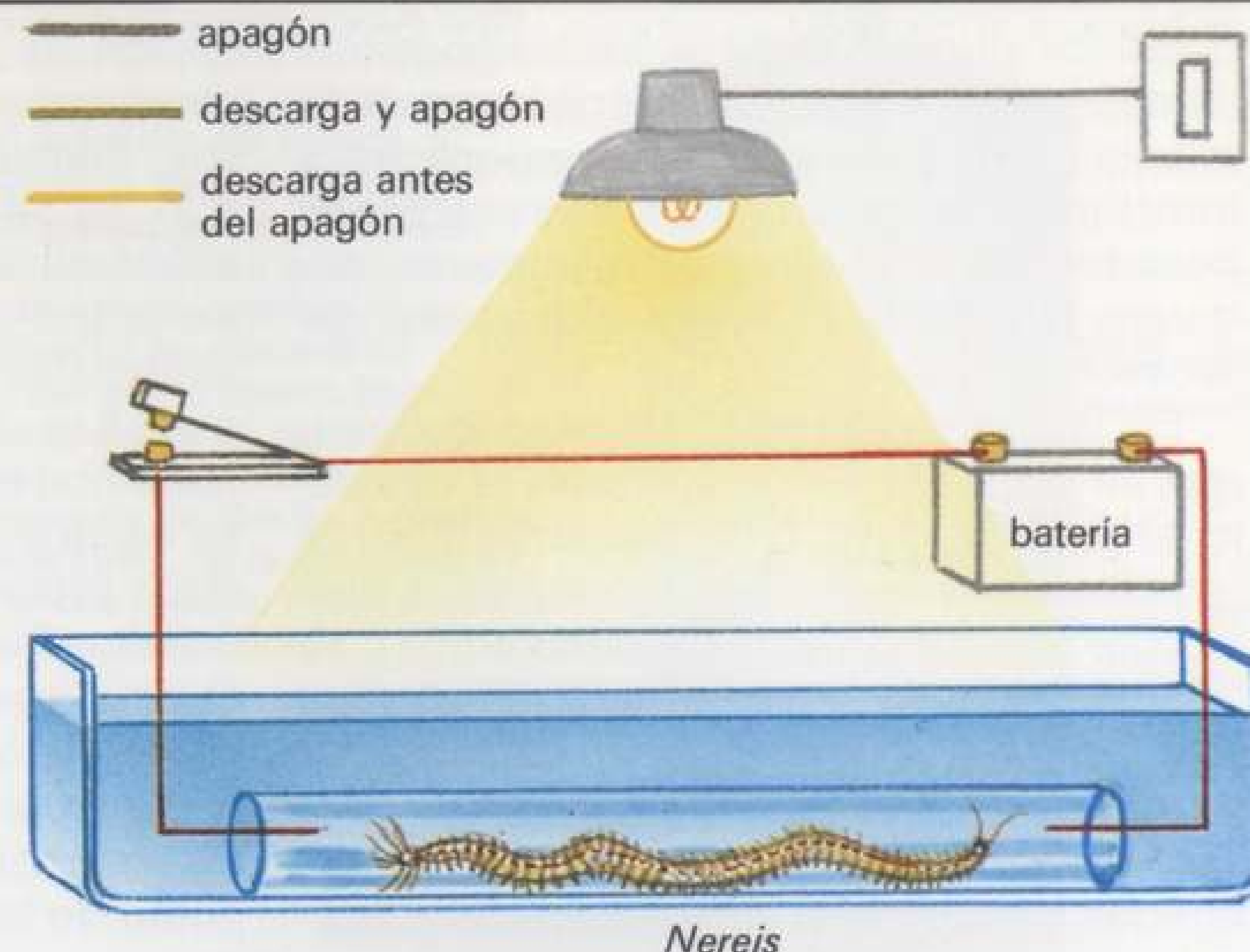
A la izquierda, conexiones entre las instalaciones de destilación de un gran complejo petroquímico. Se puede ver que las operaciones básicas son las destilaciones a presión atmosférica y al vacío. En la reutilización de las fracciones indeseadas se aplican operaciones de pirólisis (*cracking*) para obtener fracciones ligeras a partir de otras más pesadas. Mediante una oxidación parcial y un posterior refino y desulfuración se pueden mejorar productos que, sin tratamiento alguno, serían del todo inútiles. También se indican operaciones de polimerización, limitadas en este caso a mejorar el destilado.

Reflejo condicionado

Todas las formas de vida presentan gran variedad de respuestas no condicionadas, que, en su mayor parte, están relacionadas con necesidades básicas, como la alimentación, la reproducción y la supervivencia ante los ataques de los enemigos naturales. Por ejemplo, la salivación es la respuesta no condicionada a la presencia de comida. Son reacciones fisiológicas o emotivas que responden a un estímulo simple, y constituyen la base de todo el comportamiento animal y gran parte del humano. Para que se hable de reflejo, la respuesta tiene que ser involutaria.

Pavlov y la respuesta condicionada El concepto de respuesta condicionada fue desarrollado por el fisiólogo ruso I. P. Pavlov a principios del siglo XX. En un experimento que llamó "condicionamiento clásico", Pavlov puso un perro hambriento en una celda de aislamiento. El experimento consistía sencillamente en tocar una campanilla, y al cabo de varios segundos enseñar la comida al perro, provocando de esta forma la salivación del animal.





El *Nereis* es un gusano marino que se ha utilizado en los experimentos de condicionamiento. Si se enciende y apaga la luz, aprende a no reaccionar ante este estímulo; si se asocia un calambre con el estímulo luminoso, la respuesta es perdurable, pero se debe a la descarga. Si ésta se produce antes de que se apague la luz, la respuesta es más patente. No hay correlación entre los dos estímulos. Las investigaciones sobre los reflejos condicionados se realizan asociando estímulos distintos y tratando de obtener respuestas similares a uno sólo.







El pulpo, lo mismo que el *Nereis*, posee un sistema nervioso con células de fibras gigantes, fáciles de estudiar, cuya fisiología es bien conocida. En el esquema vemos cómo se puede establecer una asociación entre dos estímulos, la presencia de comida (un cangrejo) y una placa de metal. El pulpo, una vez adiestrado, se dispone al ataque en cuanto ve la lámina blanca y rectangular. Si se asocia un castigo a ambos estímulos, como puede ser una descarga eléctrica, ninguno de ellos provoca la reacción de ataque. Cuando recibe el castigo, el pulpo palidece. Las respuestas condicionadas provocan la adaptación del comportamiento animal a las distintas situaciones, y la experiencia individual va cambiando la forma de actuación. Gracias a estos experimentos se ha podido medir la capacidad de percepción de estos moluscos: usando placas de distintas formas, asociadas a distintos estímulos, se ha medido su capacidad visual de distinguir las señales y, aunque está sujeta a un índice considerable de errores, se ha comprobado esta capacidad de lectura en señales muy distintas.

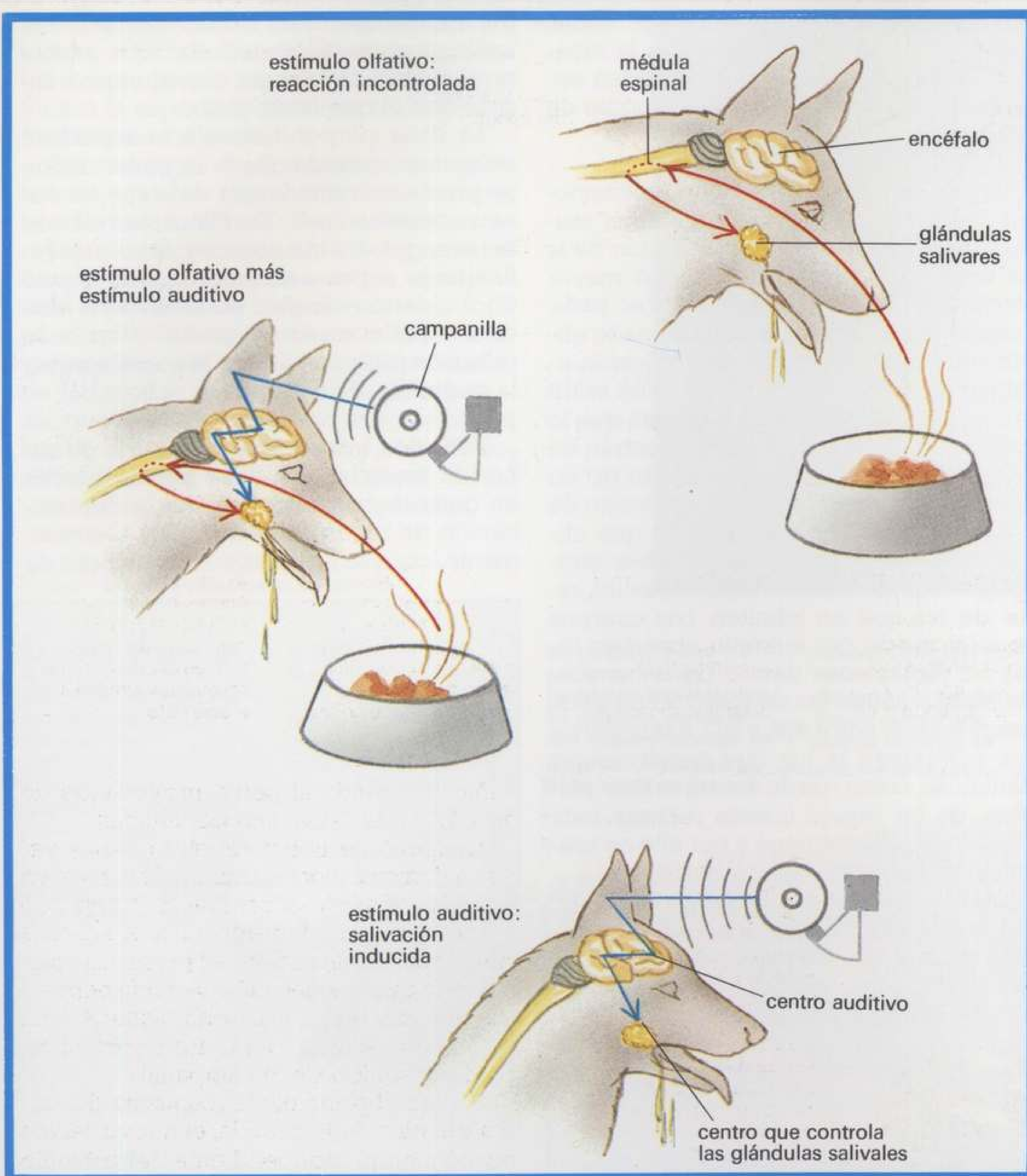
Después de haber repetido varias veces la misma secuencia, Pavlov hizo un cambio: eliminó la comida, y comprobó que el sonido de la campanilla provocaba por sí solo la salivación del perro. Esto significaba que la salivación se había convertido en una respuesta condicionada a un estímulo que en sí ya no era significativo, como el sonido de la campanilla.

Si bien al principio la respuesta dependía del olor de la comida, el nuevo reflejo acabó siendo independiente del estímulo una vez que el perro estuvo suficientemente condicionado. Si no se sometía al perro a menudo al estímulo condicionador, el animal acababa olvidándolo.

Otros experimentos demostraban que si se aumentaba el intervalo de tiempo entre el sonido de la campanilla y la presentación de la comida, la salivación se podía retrasar hasta un minuto. Este retraso en la manifestación de un reflejo condicionado tuvo mucha importancia en la obra de Pavlov, ya que le permitió identificar tres estados esenciales en el sistema nervioso: excitación (recepción de un estímulo e inicio de la actividad nerviosa causada por él); inhibición (control de la actividad nerviosa) y desinhibición (relajamiento de la inhibición).

En el experimento con el perro, la campanilla provoca la excitación, el intervalo de un minuto entre el sonido y la comida provoca la inhibición de la respuesta de salivación, y el inicio de la salivación es un acto de desinhibición. Pavlor estudió estos fenómenos durante treinta años.

Conocimiento de orden superior Los experimentos de Pavlov y de su compatriota V. M. Bekhterer demostraron que al primer estímulo condicionador se puede añadir un segundo estímulo. Así, en el experimento anterior con el perro se puede





Los experimentos con perros (arriba) permiten obtener respuestas condicionadas combinando los estímulos de la presencia de comida con una señal acústica, y estudiando la respuesta de las glándulas salivales. A los estímulos acústicos se asocian otros visuales y olfativos. Un comportamiento se mantiene o inhibe si la respuesta es premiada o castigada. La exploración del entorno se inhibe cuando las experiencias que trae consigo son desagradables, como una descarga eléctrica. Con un experimento de este tipo el fisiólogo ruso Pavlov enunció por primera vez la teoría de los reflejos condicionados, llamada también teoría del condicionamiento respondente. En ella se basan hoy día muchas de las nociones que tenemos sobre el comportamiento y la fisiología del sistema nervioso, tanto en los animales como en el hombre. La adquisición de la capacidad de responder a un estímulo arbitrario (estímulo condicionador) del mismo modo que se responde a un estímulo incondicionado recibe el nombre de aprendizaje por condicionamiento respondente, que se produce cuando ambos estímulos se presentan al animal varias veces simultáneamente (o un poco antes el condicionador). En los pulpos se ha podido cuantificar de forma precisa la intensidad de los estímulos capaces de provocar una respuesta determinada. En este caso (sobre estas líneas) la aplicación de descargas eléctricas de creciente intensidad ha permitido establecer el "umbral" de sensibilidad de un pulpo.

introducir un segundo estímulo condicionador, como, por ejemplo, encender una luz pocos segundos antes de que suene la campanilla. Aunque no se le enseñe la comida al encenderse la luz, el perro producirá la misma saliva ante la señal luminosa, ya que la asocia al sonido de la campanilla y a la comida.

Cuando se lleva a cabo un experimento de este tipo, el sujeto tiene que realizar una operación que desemboque en una respuesta. Por ejemplo, cuando a un mono se le presentan dos palancas, una de las cuales sólo hace ruido cuando se tira de ella, mientras que la otra le proporciona un plátano, el mono aprenderá rápidamente a accionar solamente la palanca que "produce" comida. Esta elección es un ejemplo de respuesta aprendida en condiciones operativas.

Aplicaciones del reflejo condicionado al comportamiento humano Supongamos que cuando un pariente visita a sus familiares lleva siempre un juguete para el niño. Si se olvida de llevarlo una vez, el niño llorará; ha sido condicionado y asocia la llegada del pariente con el regalo del juguete.

A un fumador le saben mucho mejor los cigarrillos que fuma después de haber tomado café, al acabar la comida. Debido a la fuerza de la costumbre, su deseo de fumar será probablemente mayor cuando beba café o huela su aroma, o simplemente cuando lo oiga mencionar. En el caso de la asociación entre cigarrillo y café, el estímulo del aroma de este último puede llegar a provocar en los ex-fumadores ciertos cambios metabólicos asociados al deseo de fumar.

A una persona que se ve sometida a tensiones muy fuertes se le puede enseñar un ejercicio de respiración que le sirva para relajarse. Si practica diariamente ese ejercicio y lo asocia a una o varias palabras repetidas mentalmente, al cabo del tiempo podrá obtener el mismo resultado prescindiendo del ejercicio y basándose sólo en el segundo estímulo condicionado, las palabras.

Los científicos admiten que el fenómeno del condicionamiento tiene una importancia fundamental en el comportamiento humano y de gran parte de los organismos vivos. Gracias a él se puede llegar a entender mejor el comportamiento de las personas en un mundo tan complejo como el nuestro.

Véase **Animal; Aprendizaje animal**

Reflexión

Las leyes de la reflexión, junto con las de la propagación rectilínea de las ondas y las de la refracción, constituyen la base de la óptica geométrica. La reflexión es un fenómeno físico que juega un importante papel en la vida del hombre ya que ésta le permite obtener una imagen sensorial, tanto de la forma como de los colores, del mundo que le rodea.

Reflexión y refracción son fenómenos que, excepto casos muy especiales, suelen producirse conjuntamente. Por lo general, cuando un haz de ondas planas electromagnéticas se propaga en un medio e incide sobre una superficie plana que separa este medio de otro en el cual la velocidad de propagación es distinta que en el primero, sólo parte del haz incidente pasa al segundo medio, siendo el resto reflejado. Se pueden reflejar dos tipos de ondas, las mecánicas y las luminosas: la reflexión de ambas sigue leyes análogas, aunque son fenómenos que se producen por razones diferentes.

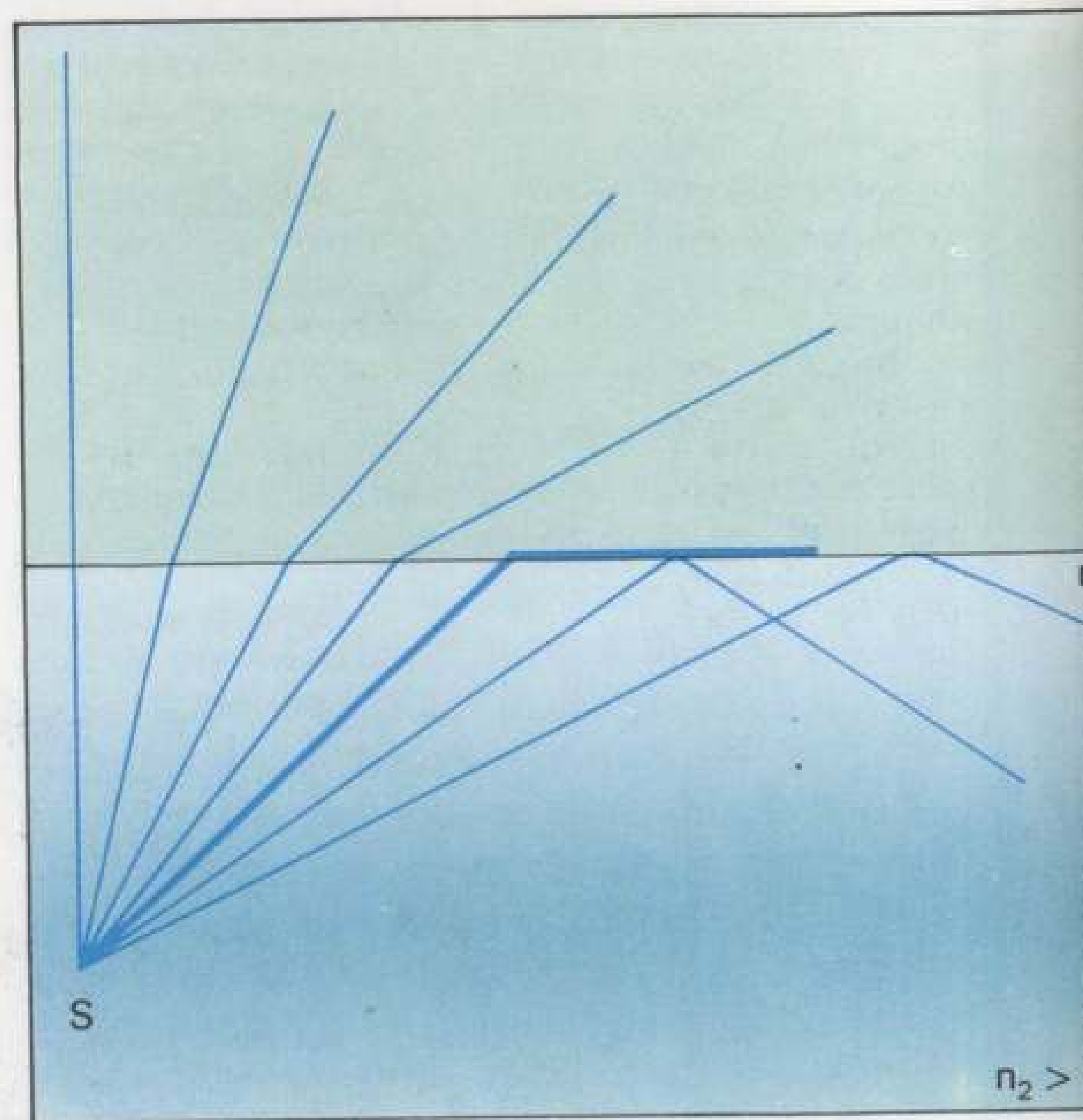
Ondas mecánicas Las ondas mecánicas se generan por el movimiento físico de las moléculas. Cuando se hace vibrar una goma elástica tensada, la oscilación de la goma produce un tipo de onda mecánica (sonido) debido a que su rápida vibración mueve el aire a su alrededor, creando ondas de presión que se propagan en todas direcciones. Cuando estas ondas de presión alcanzan nuestros oídos, oímos un cierto sonido. En cambio, si llegan a cualquier otro medio de propagación muy distinto del aire, aquél absorberá una parte de la energía que transportan mientras que el resto de la energía volverá al medio original (aire) en forma de ondas reflejadas. La reflexión de ondas acústicas sigue leyes análogas a la reflexión de la luz, entre ellas la igualdad entre el ángulo de incidencia y el ángulo de reflexión.

Ondas de luz Aunque las aplicaciones de la reflexión del sonido sean muchas y muy interesantes, la reflexión de la luz tiene una importancia mucho mayor porque sin ella no podríamos ver nada. Cuando la luz alcanza un determinado objeto, sufre una absorción y una reflexión simultáneas, dependiendo la relación entre ambas del estado de las moléculas que lo forman. Los átomos que se encuentran en el interior de las moléculas pasan de un estado energético a otro dependiendo de la cantidad de energía luminosa que absorben. Como no pueden absorber ciertos tipos de energía, reflejan aquellos rayos de luz que no admiten. Los cuerpos de color verde, por ejemplo, absorben todas las radiaciones dentro de la luz visible, exceptuando las de longitud de onda comprendida entre 492 y 577 nanometros, que componen la luz que nuestros ojos identifican como verde. La superficie plateada de un espejo común rechaza toda la luz visible que le llega y por ello no presenta ningún color particular.

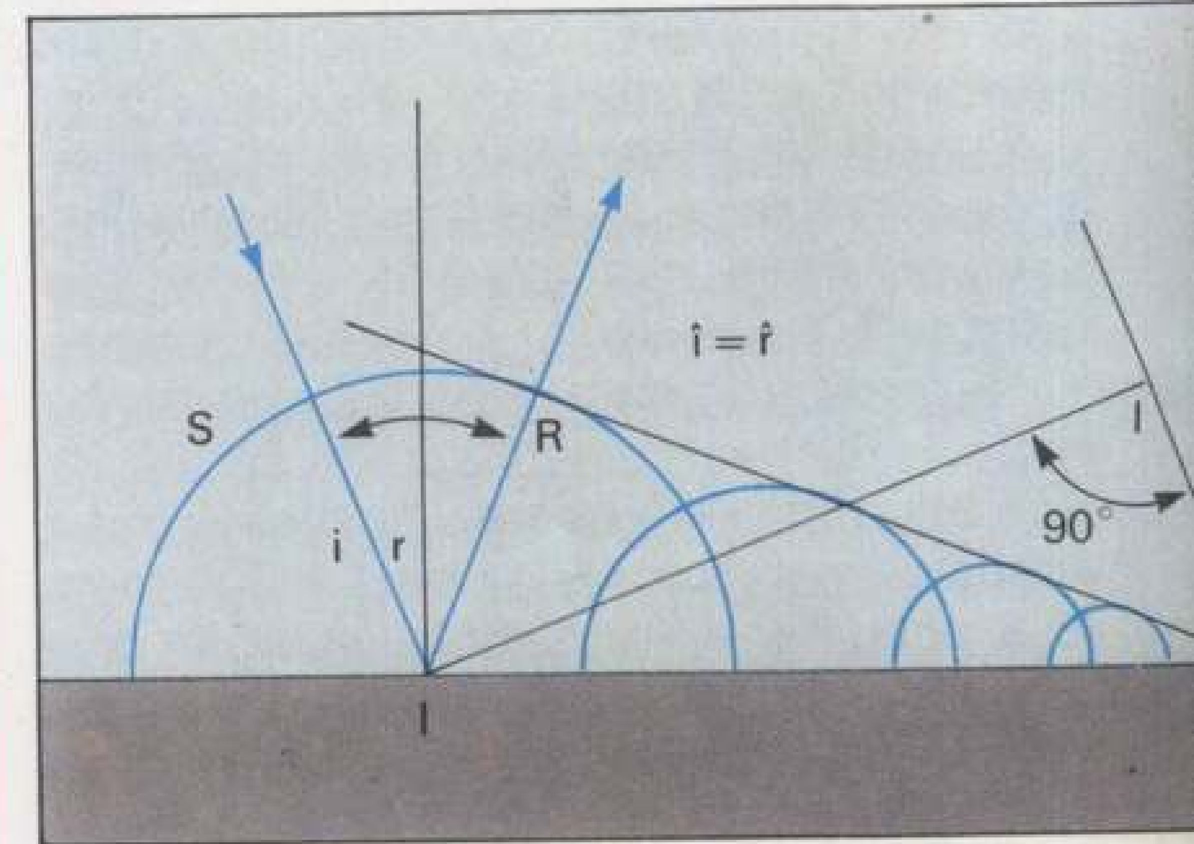
La dirección en que se refleja la luz depende de la forma de la superficie reflectante y de la dirección del rayo incidente. Si el rayo de luz original, llamado *rayo incidente*, llega perpendicularmente a la superficie del espejo plano, se refleja hacia atrás, según la misma dirección aunque con sentido contrario. En cambio, si llega a la superficie con un cierto ángulo, el *rayo reflejado* abandona el espejo con el mismo ángulo que el de incidencia, de forma análoga a una bola de billar, que rebota en el borde de la mesa con el mismo ángulo con el que ha llegado.

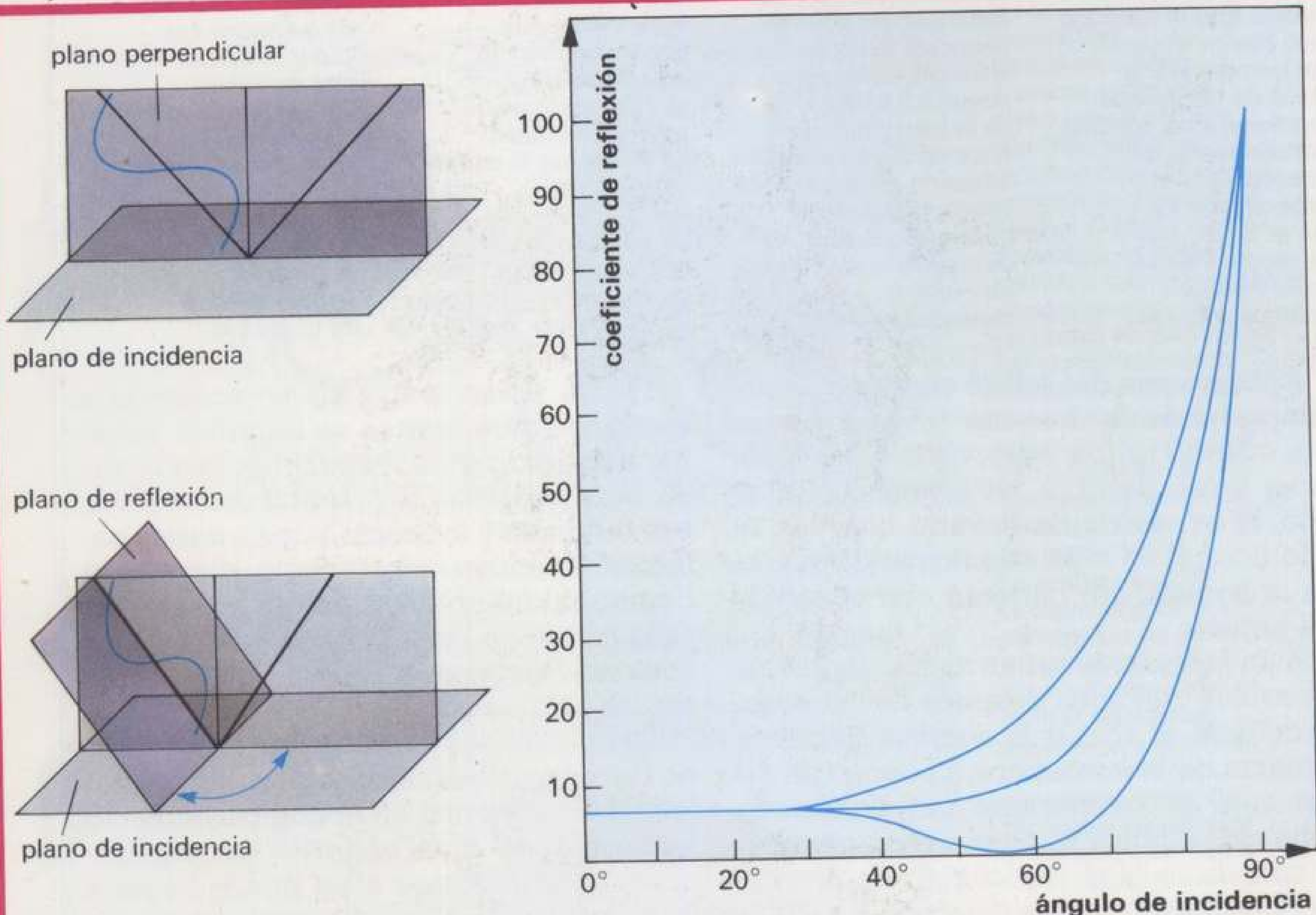
La línea perpendicular a la superficie reflectante, trazada desde el punto donde se produce la incidencia del rayo, se conoce como *normal*. En Física, la relación entre ángulo de incidencia y ángulo de reflexión se expresa diciendo que el ángulo de incidencia (ángulo entre el rayo incidente y la normal) es igual al ángulo de reflexión (ángulo entre el rayo reflejado y la normal).

Reflexión interna total Un tipo de reflexión especial, que tiene mucho interés en gemología, se conoce con la denominación de *reflexión interna total*. Generalmente, cuando la luz pasa de un medio de



Aquí arriba podemos ver un esquema que representa un caso de reflexión total: a partir de un determinado valor del ángulo de incidencia, el rayo de luz que se propaga de un medio más denso a uno menos denso solamente se refleja, sin refractarse. Debajo, la deducción de la ley de reflexión a partir del principio de Huygens: cada punto de la superficie de separación entre los dos medios se convierte en una nueva fuente emisora de ondas elementales que se propagan por ambos medios. Se puede demostrar que en un mismo medio la velocidad de propagación no varía y, por tanto, el frente de onda del rayo incidente se transforma en el frente de onda reflejada. Las direcciones de propagación de las ondas incidentes y reflejadas forman dos ángulos respectivamente con la recta normal al plano de separación entre los dos medios. Se puede →





Los diagramas superiores describen la reflexión en el caso de ondas polarizadas. Arriba, una onda polarizada en un plano de reflexión perpendicular al de incidencia; debajo, reflexión en el plano de polarización e intensidad de reflexión máxima.

En la curva, evolución de la reflexión en una superficie transparente con radiación natural, polarizada en el plano de reflexión y en el plano perpendicular a éste.

una cierta densidad (por ejemplo, agua o vidrio) a un medio de densidad menor (como puede ser el aire), los rayos atraviesan la superficie de separación sin sufrir ninguna reflexión.

Sin embargo, en algunos casos, cuando la luz llega a un medio menos denso con la suficiente inclinación, es rechazada y se refleja produciéndose el fenómeno de reflexión interna total. Uno de los ejemplos más conocidos de reflexión interna total es el brillo de un diamante tallado: si se expone a la luz del sol, el brillante absorbe fácilmente los rayos, parte de los cuales quedan "atrapados" en el interior del cristal, rebotando de una cara a otra. El resultado es que la piedra se "llena" de rayos aprisionados, que la hacen brillar.

Véase **Luz; Luz polarizada; Refracción**



→ demostrar, a través de la igualdad de los dos triángulos rectángulos formados, la igualdad entre dichos ángulos.
El espejo es un ejemplo de superficie perfectamente reflectante, pero el espejo deformante nos recuerda que las leyes de la óptica están subordinadas a las leyes de la geometría. La superficie curva del espejo deformante modifica los parámetros geométricos de la reflexión, produciendo la divertida distorsión que todos conocemos. En cambio, arriba podemos ver un fenómeno atmosférico de reflexión donde el Sol aparece rodeado de un halo. La imagen se debe a mecanismos de reflexión múltiple que hacen que se concentre la luz del Sol en numerosos puntos situados en el perímetro de una circunferencia. El conjunto de estos puntos constituye el halo.

Refracción

En un día de verano con buen tiempo se pueden observar varios fenómenos curiosos en la proximidad de una playa. En efecto, en la zona donde las aguas son más profundas, la brisa empuja las olas según una dirección que forma un cierto ángulo con la línea de la costa; sin embargo, al irse aproximando a esta última, las olas parecen arquearse hasta llegar a romper casi frontalmente con ella. Cuando el Sol se pone y la temperatura desciende, también se puede observar que el ruido de las olas que rompen al llegar a la orilla se ha hecho notablemente más fuerte que unas pocas horas antes.

Los dos fenómenos mencionados son ejemplos de refracción de ondas, es decir, de la variación de la dirección de propagación de una onda debida a un cambio en su velocidad. Como conocen todos los aficionados al *surf*, cuanto mayor es la profundidad del agua, mayor es la velocidad de las olas. Cuando una ola se acerca oblicuamente a la playa, la parte que está más cerca de la orilla empieza a desplazarse más lentamente, mientras que la parte que se encuentra en la zona más profunda mantiene su velocidad. El resultado es que la ola entera se refracta progresivamente, o cambia su dirección, arqueándose hasta llegar a la playa frontalmente.

De forma análoga, las ondas sonoras viajan más rápido por el aire caliente que por el aire frío. Cuando al caer la tarde se enfría el agua, enfría a su vez el aire que está encima de ella. El ruido de las olas que se desplaza hacia arriba, traspasa y alcanza esta primera capa de aire caliente, reflejándose hacia los bañistas que están en la playa.

Ambos tipos de refracción se producen porque existe una onda que se desplaza desde un medio con una determinada velocidad hacia otro medio donde se mueve con una velocidad distinta. Si la segunda velocidad es menor que la primera, la dirección de propagación de la onda se desviará siempre hacia una dirección que se acerca más a la recta perpendicular a la separación entre los dos medios (normal). Esto es lo que sucede con las olas en la playa: llega un momento en que una parte de la ola pasa de la zona de mayor profundidad (medio en que la velocidad es mayor) a la de menor profundidad (donde la velocidad es menor), refractándose y, en consecuencia, alineándose paralelamente a la línea de playa.

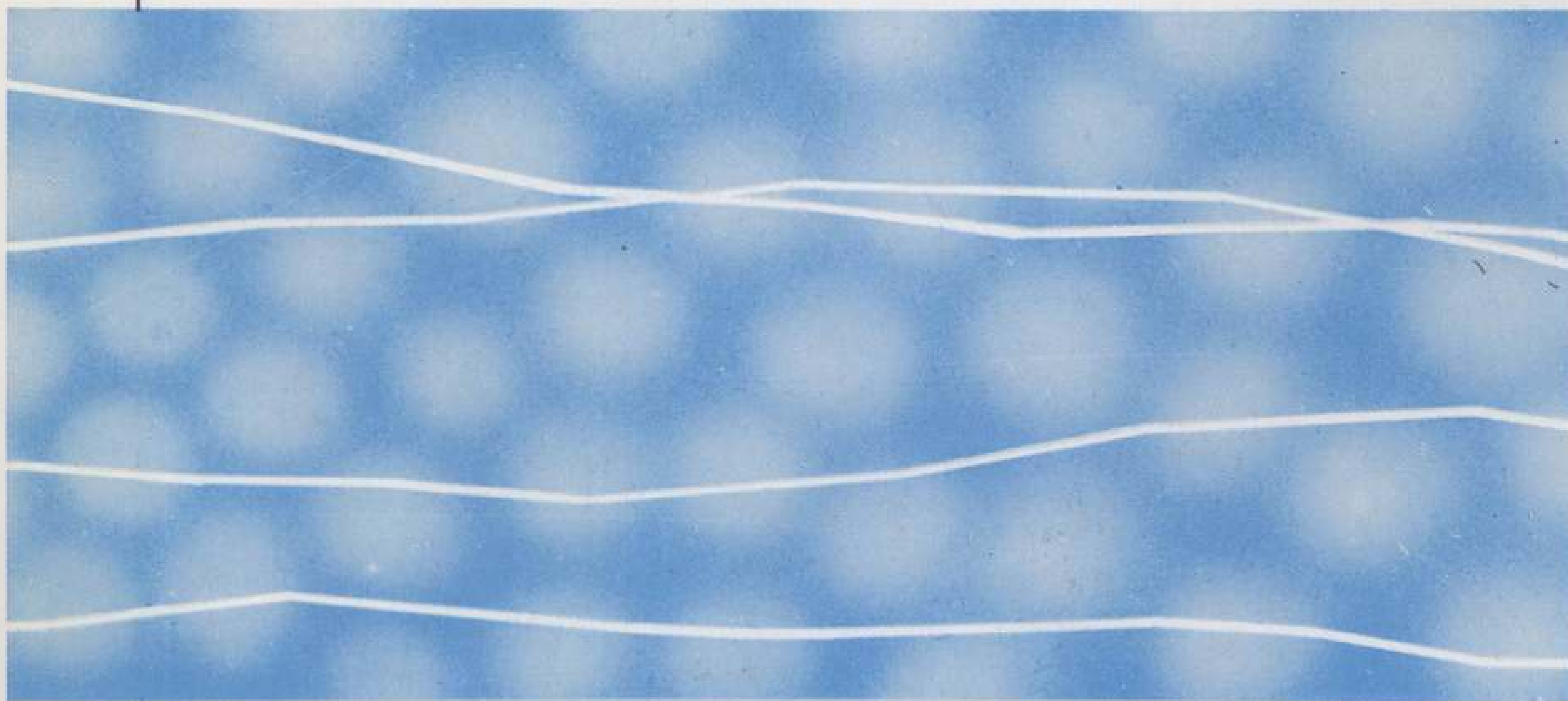
Por otra parte, si la velocidad de propagación de la onda es mayor en el segundo medio, sucederá exactamente lo contrario. Las ondas en el segundo medio, más rápido, se alejarán de la normal, formando un ángulo con ésta superior al que formaban en el primer medio.

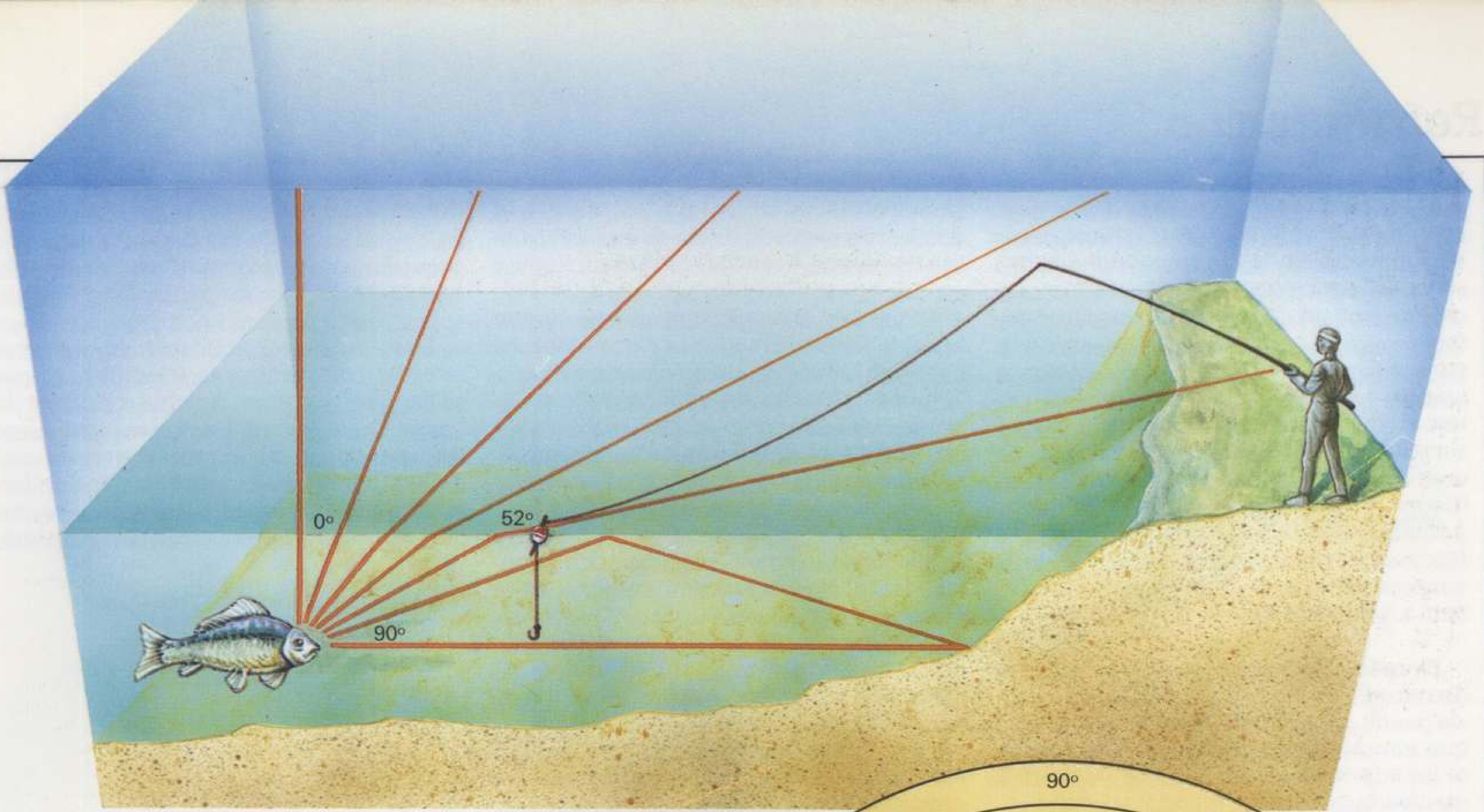
Luz Las ondas de luz también se refractan, lo que se puede observar dirigiendo un haz de luz hacia una de las caras de un prisma de vidrio o, simplemente, comprobando cómo parece doblarse una varilla que se sumerge parcialmente en un recipiente con agua. Ante todo, es prioritario entender la verdadera naturaleza de una onda de luz y de qué forma ésta se propaga en el espacio. La principal diferencia con los movimientos ondulatorios anteriormente mencionados (las olas que se propagan sobre el agua y las ondas de sonido que se propagan a través del aire) es que, a diferencia de éstos, las ondas de luz no necesitan de medio material alguno para propagarse en el espacio. Mientras que aquéllas son ondas puramente mecánicas, las ondas de luz tienen una naturaleza electromagnética, es decir, son fluctuaciones periódicas en el espacio de campos magnéticos y eléctricos perpendiculares entre sí y con respecto a su dirección de propagación. En la onda de luz, un campo magnético en movimiento crea un campo eléctrico análogo, que a su vez induce otro campo magnético, y así sucesivamente. Debido a esta naturaleza autopropulsiva, la luz se propaga en el continuo espacio-tiempo sin necesidad de ningún "ente" material que la sostenga, es decir, se puede propagar en el vacío, como sucede con la radiación que atraviesa los vastos espacios interestelares procedentes de estrellas lejanas.

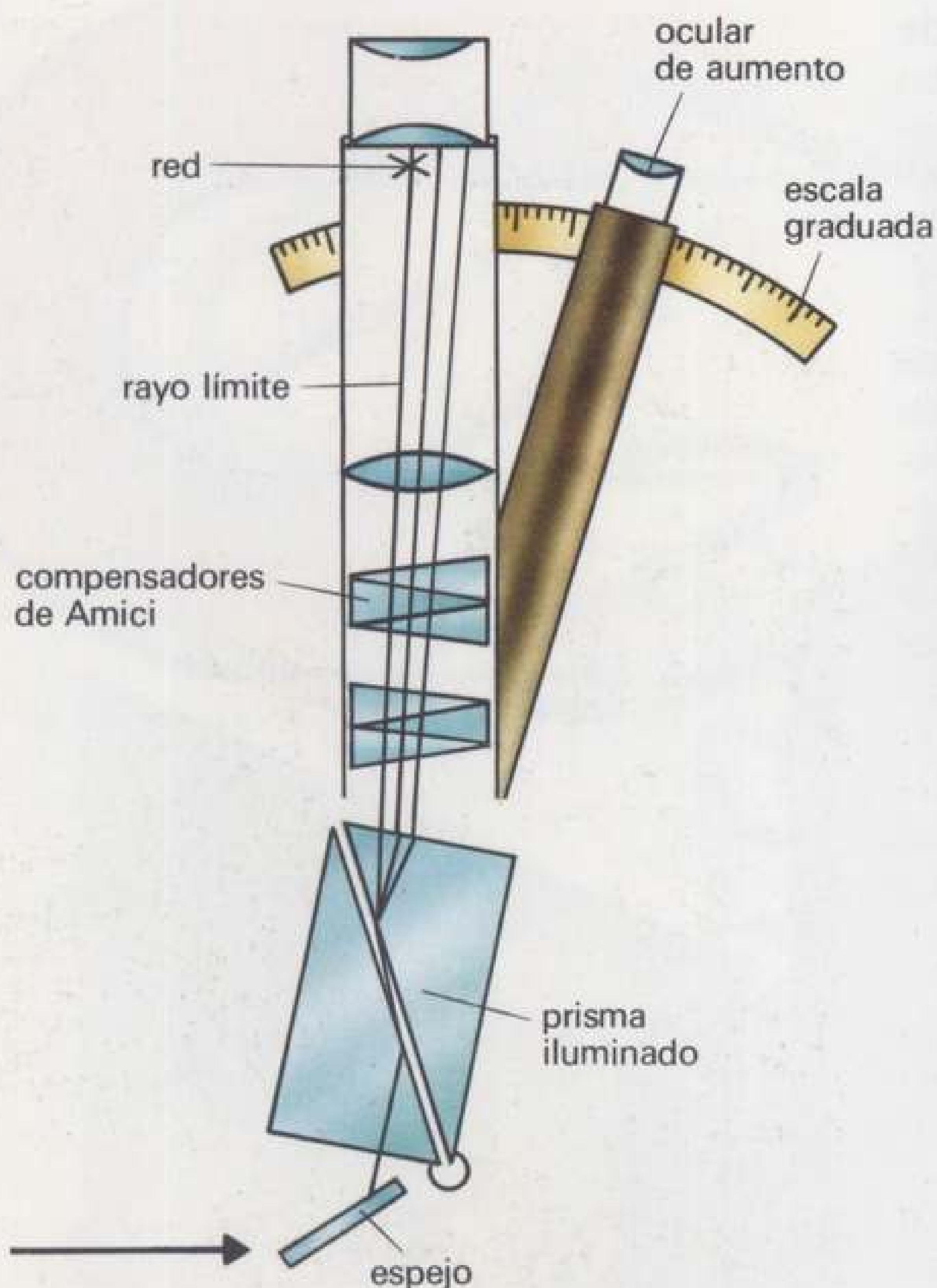
Basándose en la interpretación de la propagación de la luz como un proceso ondulatorio, el físico y matemático Christiaan Huygens dedujo las leyes sobre la refracción de la luz. Para ello consideró un caso típico de refracción; supuso dos medios distintos, por ejemplo, el aire (1) y el agua (2) y una onda luminosa plana que, proveniente del medio (1), incidía sobre la superficie de separación entre ambos, formando un ángulo de incidencia α con la perpendicular al plano en el punto de incidencia (línea normal). Tras penetrar en el segundo medio, el haz se refractaba formando un ángulo de refracción β con la recta normal; v_1 era la velocidad de propagación de la onda en el primer medio, mientras que en el medio (2) era v_2. Su estudio se basaba en el conocido principio de Huygens, según el cual, cada punto hasta el que llega la excitación luminosa se convierte a su vez en un centro de ondas secundarias; la superficie que contornea esas ondas secundarias en un determinado momento de tiempo indica, para

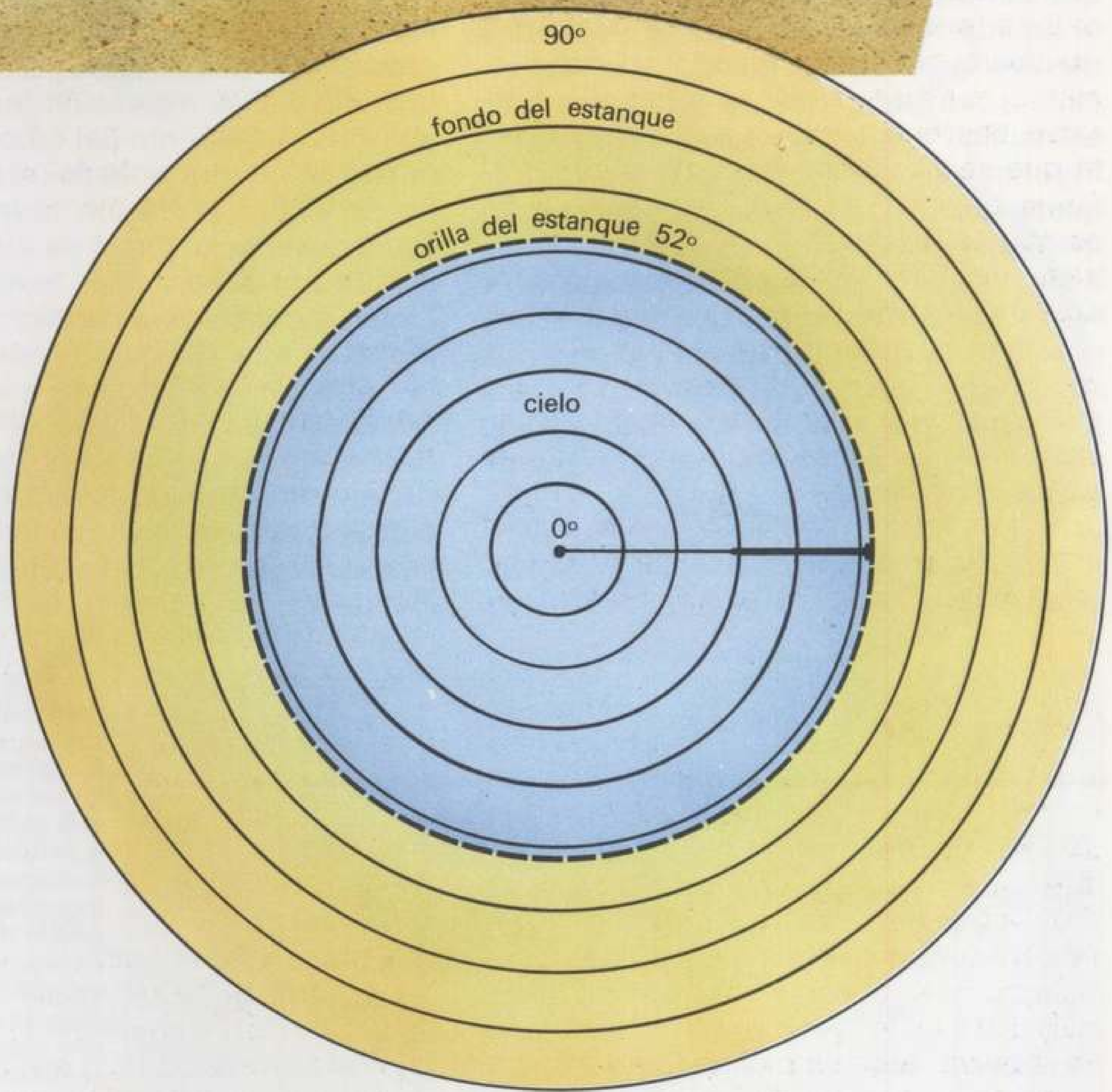
Cuando un rayo de luz pasa de un medio a otro de densidad diferente experimenta, en la superficie de separación entre ambos, una desviación que recibe el nombre de *refracción*. Como cada medio tiene una capacidad de refracción específica respecto al aire, aplicando este principio se pueden identificar materiales distintos por el valor medido. En la fotografía bajo estas líneas se reproduce un refractómetro, instrumento pensado para realizar este tipo de medida. El instrumento, que también recibe el nombre de refractómetro de Abbe, está formado por un espejo que refleja el rayo de luz y lo manda a un prisma. Debajo de este prisma se encuentra otro y entre los dos se halla la muestra a analizar. Con las compensaciones ópticas oportunas, el rayo llega desdoblado a una red de medida. El operador lee el valor de difracción en grados con un ocular móvil. Por ejemplo, si se consideran dos materias grasas, como la mantequilla y la margarina, se puede decir que la primera tiene un índice refractométrico entre 44 y 47 grados, mientras que la segunda tiene un índice refractométrico situado entre 50 y 51 grados, ambos a 35 °C. Abajo, en una mezcla de burbujas de aire caliente y frío, un rayo de luz se refracta cada vez que pasa de unas a otras.











Si nos colocamos en el punto de vista del pez situado en el fondo del estanque, veremos los objetos que están fuera del agua dentro de un ángulo más pequeño que el real. Esto se produce porque los rayos de luz procedentes de los objetos situados fuera del agua (la orilla del estanque, el pescador, la caña) al atravesar la superficie de separación aire-agua experimentan una desviación, es decir, una refracción que restringe el ángulo de visión del pez. La situación está esquematizada en la proyección circular. En ella puede verse cómo el pez ve el cielo dentro de un ángulo de visión de 52 grados, y fuera de ese ángulo ya no puede ver los rayos de luz procedentes de los objetos exteriores, debido precisamente a la refracción que experimentan. Lo que el pez sí verá es el reflejo del fondo del estanque en el que nada. El fenómeno de la refracción es especialmente importante en la formación de espejismos.

dicho momento, la posición del frente de la onda que se propaga en realidad. Estableciendo correspondencias y semejanzas entre el mismo tipo de refracción pero con ángulos de incidencia distintos, dedujo la relación v_2 sen $\alpha = v_1$ sen β, lo que, conocidas las velocidades de propagación en dos medios distintos y el ángulo de incidencia, permite en todo momento conocer el ángulo de refracción. Introduzcamos ahora una nueva magnitud característica de cada medio: el índice de refracción. Por definición, el *índice de refracción* (n) de un medio es igual al cociente entre la velocidad de la luz en el vacío ($c = 2{,}99 \times 10^8$ m/s) y la velocidad de la luz en el medio (v). Es decir, el índice de refracción $n = c/v$. Teniendo en cuenta las relaciones de Huygens y denominando n_1 y n_2 a los índices de refracción de los medios (1) y (2) respectivamente, podemos deducir que sen α /sen $\beta = n_1/n_2$.

Si la luz pasa del aire a un medio denso, y como la velocidad en el aire es prácticamente igual a la de la luz en el vacío, entonces $n_{aire} = 1$ y por tanto sen α /sen β = n, siendo n el índice de refracción del medio denso. Esta relación, llamada *ley de Snell*, se cumple para cualquier tipo de onda, lo que permite estudiar una gran gama de fenómenos relacionados con la transmisión, tanto en el caso de perturbaciones electromagnéticas como de perturbaciones mecánicas.

Véase **Luz; Reflexión**

Refrigeración

En los tiempos anteriores a la invención de los modernos frigoríficos, la conservación de los alimentos perecederos constituía una de las mayores dificultades con que se enfrentaban los productores de este tipo de alimentos. Se buscaron entonces diversas técnicas de conservación para la carne y la verdura, como fueron la salazón y la desecación. Los primeros sistemas mecánicos de refrigeración, que surgieron a principios del siglo XIX, no eran más que contenedores aislados y enfriados por medio de bloques de hielo. Actualmente, la mayoría de los frigoríficos funciona basándose en el principio de la evaporación-compresión que describiremos a continuación.

Evaporación-compresión Un aparato de refrigeración por compresión posee un serpentín metálico, o *evaporador,* por el que circula, accionado por un compresor, el líquido refrigerante. Este se evapora a medida que va absorbiendo calor del recinto a refrigerar, que de esta manera se enfría. Una vez transformado en gas, el refrigerante se comprime mediante una pequeña bomba rotativa accionada por un motor eléctrico, tras lo cual se hace pasar a otro serpentín, o *condensador,* donde el refrigerante transfiere al aire que le rodea el calor absorbido durante la evaporación sufrida en el interior del frigorífico. En este proceso, el gas se convierte en un líquido a temperatura ambiente, y el ciclo puede reanudarse.

Principios de la refrigeración El funcionamiento de un frigorífico se basa en leyes fundamentales de la termodinámica, principalmente en las que se refieren al comportamiento de un fluido cuando cambia de estado. Para transformar un líquido en gas o vapor es necesario un aporte de energía: por ejemplo, cuando se hierve agua, la llama del gas o la placa eléctrica cumplen la función de fuentes de energía.

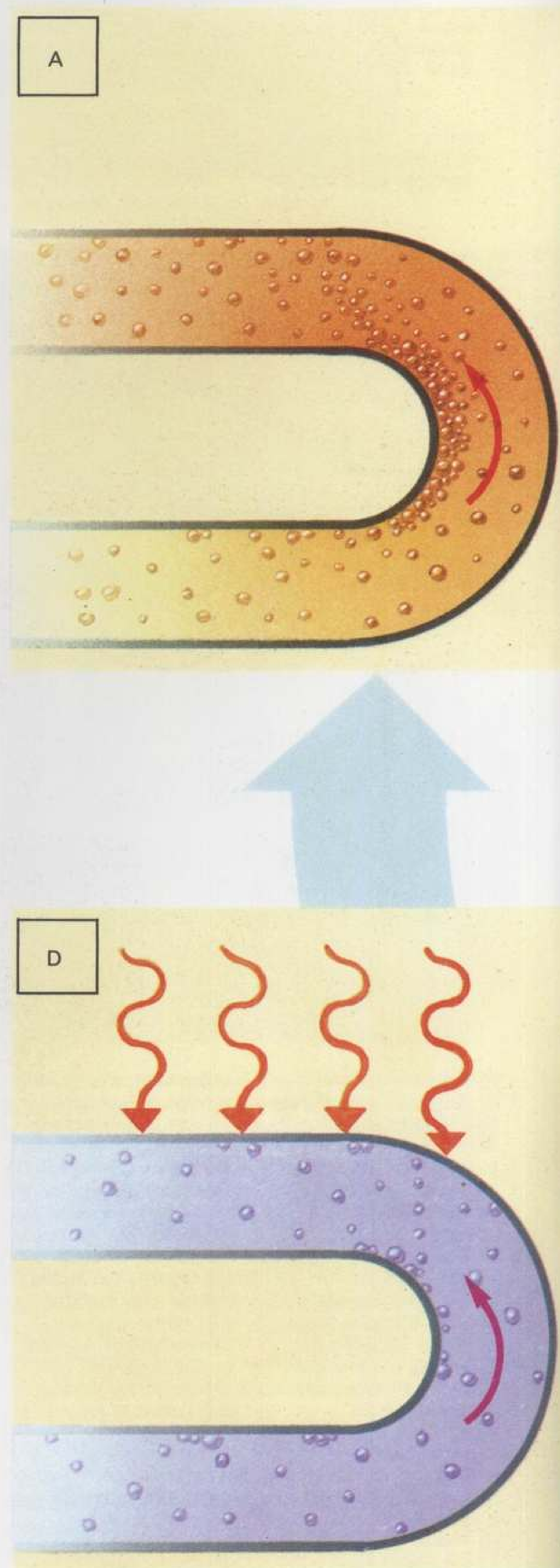
La temperatura de ebullición de un líquido depende de la presión ejercida sobre el mismo. Un líquido sometido a presión tiene un punto de ebullición más alto —por ejemplo, el agua en una olla a presión hierve a una temperatura más alta de la que lo hace a presión atmosférica. Esencialmente, la refrigeración consiste en la extracción de calor de un recinto (el compartimento frigorífico) y su transferencia a otro más frío (el líquido refrigerante y, de allí, al aire circundante). Este proceso continuo de transferencia de calor se conoce como "ciclo de refrigeración". Cuando el refrigerante, a temperatura ambiente y a presión elevada, se hace pasar a través de una válvula de expansión (en la práctica un estrangulamiento del tubo), llega a encontrarse en un ambiente (el serpentín de evaporación) a presión muy inferior; en consecuencia, su punto de ebullición desciende por debajo de la temperatura ambiente y comienza a transformarse en vapor. Para ello, el líquido tiene que absorber energía, que en parte adquiere (bajo forma de calor) de sí mismo —con lo cual desciende su propia temperatura— y, en parte, a través de las paredes del serpentín, del ambiente que lo rodea (el compartimento frigorífico), cuya temperatura desciende.

Los líquidos usados como refrigerantes deben tener un punto de ebullición muy bajo —inferior a la temperatura más baja prevista para el compartimento frigorífico— o no estarán en condiciones de absorber calor de dicho compartimento.

Después de expandirse y de enfriar el aire del compartimento frigorífico, el gas pasa, a través de un sistema de tubos de conexión, al exterior del compartimiento refrigerador, y es comprimido por la bomba, hasta que se condensa otra vez en forma líquida, liberando calor en el aire circundante por el principio contrario al uti-

Sigla	Nombre químico	Fórmula química	Temp. ebullic. (°C)	Calor evaporac. (kcal/kg)
R 170	etano	CH_3CH_3	−88,6	115,8
R 290	propano	$CH_3CH_2CH_3$	−187,1	101,5
R 717	amoniaco	NH_3	−33,3	326,6
R 718	agua	H_2O	100	537
R 729	aire	—	−194,5	48
R 744	dióxido de carbono	CO_2	−78,5	129,7
R 764	dióxido de sulfuro	SO_2	−10,0	102,7
R 1150	etileno	$CH_2{=}CH_2$	−103,7	114,4
R 1270	propileno	$CH_2CH{=}CH_2$	−47,7	104,7
R 11	tricloromono-fluorometano	CCl_3F	23,7	43,5
R 12	diclorodifluo-rometano	CCl_2F_2	−29,8	39,9
R 113	triclorotri-fluorometano	CCl_2FCClF_2	47,7	34,5
R 114	diclorotetra-fluoretano	$CClF_2CClF_2$	3,5	32,8
R 22	monocloridi-fluorometano	$CHClF_2$	−40,8	55,9

En la tabla de la izquierda se indican las características de los refrigerantes más utilizados.
A la derecha, funcionamiento de un frigorífico doméstico y estado del refrigerante en algunos puntos del circuito. El circuito (página siguiente) está formado por un compresor (1), un condensador (2), una válvula o capilar de expansión (3) y un evaporador (4). El fluido sale del compresor bajo forma de vapor a elevada temperatura y presión (60 °C y 10 atmósferas) (A), se enfría y se licúa en el condensador (B) alcanzando los 45 °C; supera la válvula de expansión, encuentra un ambiente a baja presión (0,5 atmósferas) y se evapora enfriándose a −18 °C (C) y absorbiendo calor del interior del frigorífico (D). En este momento el compresor lo vuelve a aspirar, lo lleva a las condiciones iniciales y reanuda el ciclo.



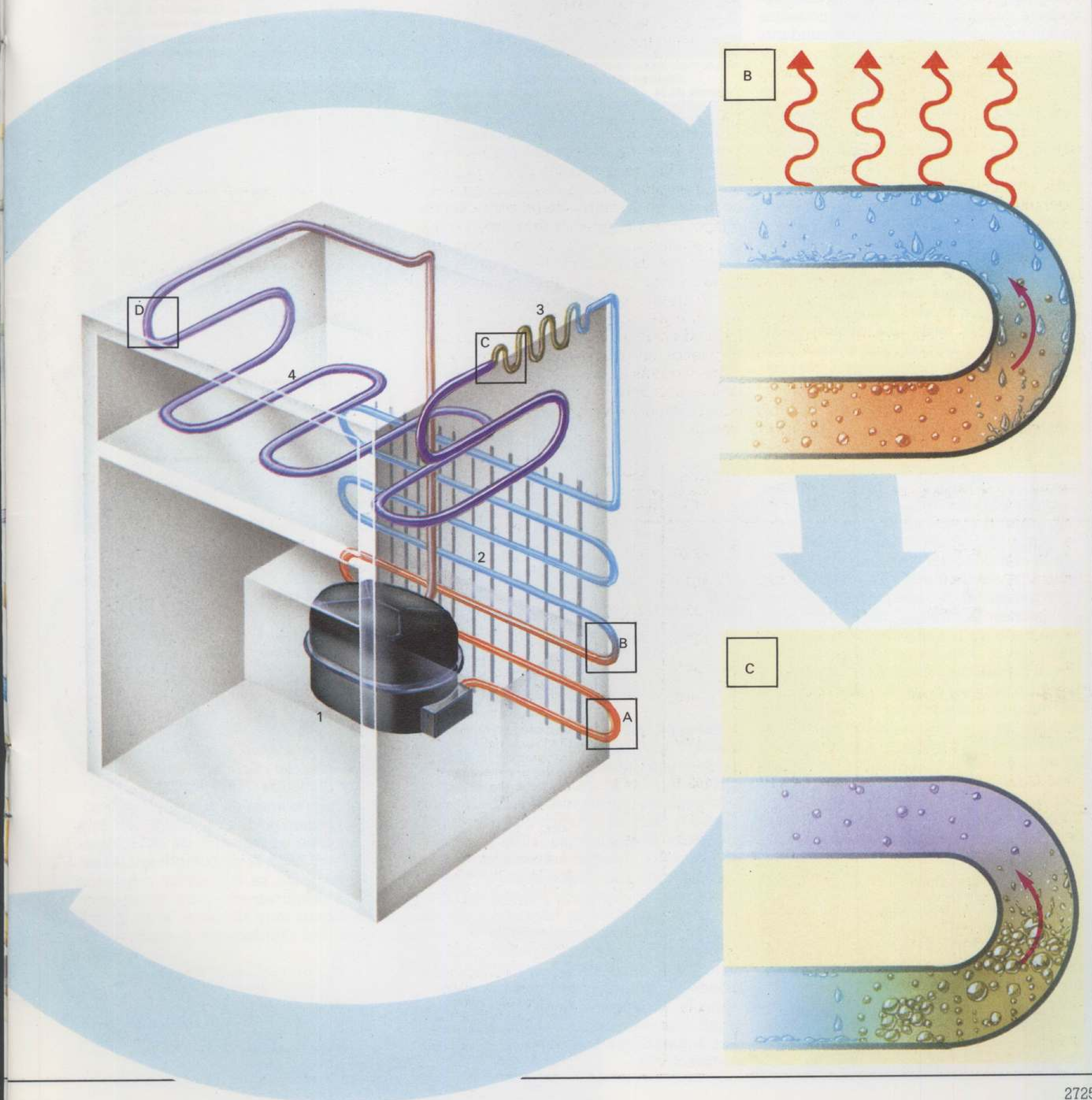
lizado durante la evaporación; ésta es la razón por la cual tocando la parte posterior de un frigorífico se nota una intensa emisión de calor. El ciclo se repite continuamente hasta que el termostato, situado en el interior del frigorífico, registra la temperatura deseada. En este momento se apaga el motor que acciona la bomba.

Normalmente, las temperaturas en el compartimento frigorífico se mantienen algunos grados por encima del punto de congelación, de tal manera que el alimento no se congela, siendo, sin embargo, lo suficientemente bajas como para evitar el desarrollo de mohos y bacterias que estropeen el producto.

En el congelador, la temperatura es inferior (−18 °C) y bloquea el crecimiento de microorganismos, permitiendo así una larga conservación de los alimentos.

Refrigeración por absorción Un tipo de frigorífico mucho menos difundido funciona según el principio de absorción. El refrigerante (generalmente amoniaco, NH_3) mezclado con agua es calentado en una caldera (en lugar de con un compresor, como sucede en el frigorífico clásico). El amoniaco, más volátil que el agua, se desprende en forma de vapor y pasa a un condensador, donde se licúa desprendiendo calor a través de las paredes del condensador. Seguidamente, el amoniaco pasa, a través de una válvula de expansión, al evaporador, donde se evapora, absorbiendo calor del medio ambiente que lo rodea y reduciendo, por tanto, su temperatura.

Véase **Alimentos, temperatura de conservación; Frigorífico y congelador**



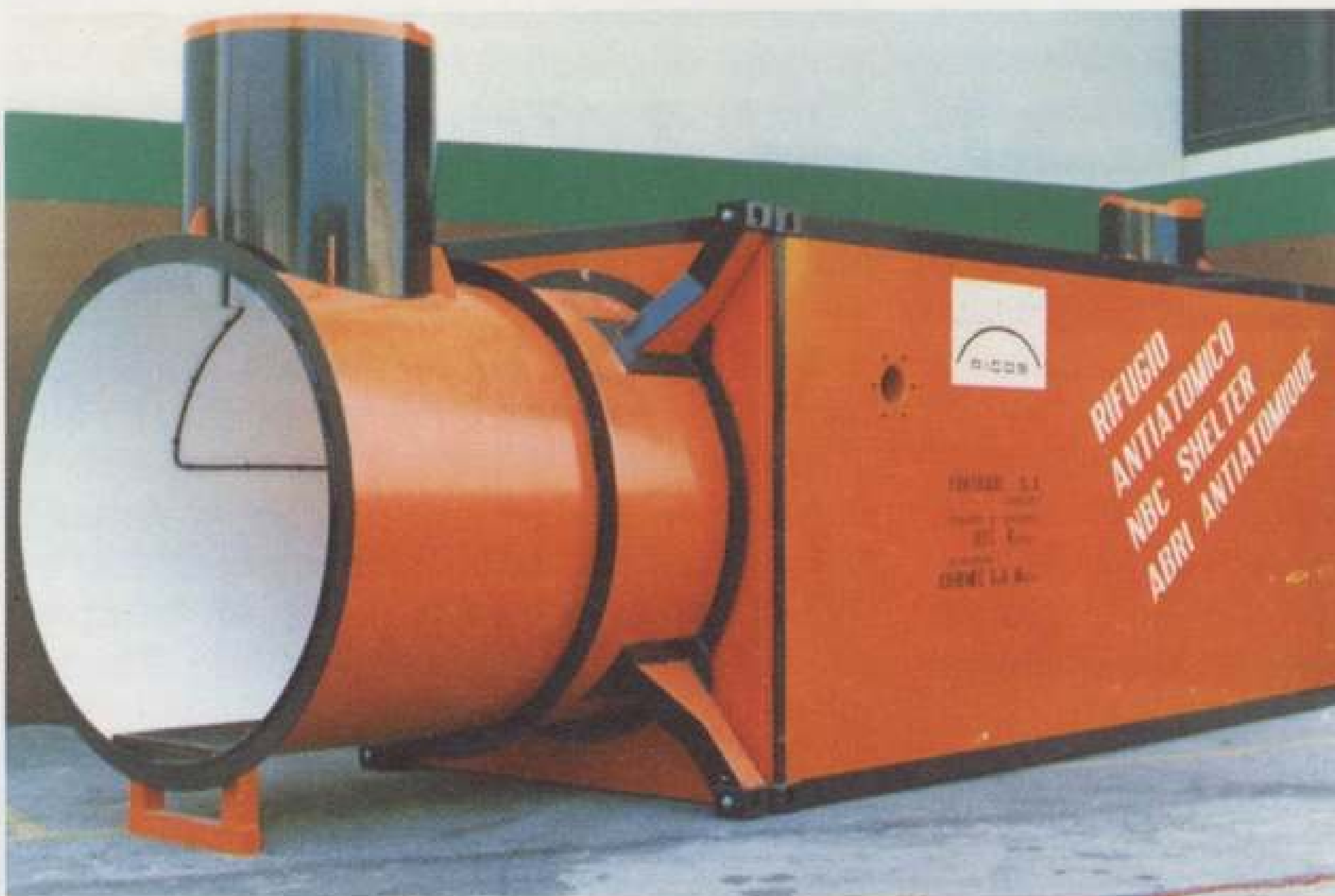
Refugio antiatómico

El concepto de refugio antiatómico, que se remonta a hace apenas cuarenta años, representa el esfuerzo de los encargados de la defensa civil para proveer la protección de parte de la población ante la posibilidad de un conflicto nuclear.

Ataque nuclear Cuando un arma nuclear hace explosión contra el suelo, se libera una enorme cantidad de energía, que da lugar a la formación de una gran esfera de fuego y a una poderosa onda de choque, que se propagan desde el centro de la explosión hasta distancias variables entre 16 y 180 km, destruyendo completamente cualquier cosa que se encuentre en su trayectoria; como efecto secundario, pero no por ello menos destructivo, el material evaporizado por la esfera de fuego forma gases radiactivos, que se elevan en la atmósfera y después se enfrían y se condensan, cayendo posteriormente en forma de polvo radiactivo. Esta lluvia radiactiva (*fall-out*) puede ser transportada por los vientos a cientos de kilómetros del lugar de la explosión, arrastrando radiaciones mortales.

La cantidad de rayos gamma, emitidos por la lluvia radiactiva, disminuye en un breve período de tiempo. Apenas transcurridas siete horas desde el momento de la explosión, los niveles de radiación pueden descender hasta una décima parte del nivel inicial. Los refugios antiatómicos están proyectados, precisamente, para garantizar la protección contra dichas radiaciones.

Construcción de un refugio Los requisitos esenciales a la hora de proyectar un refugio antiatómico son dos: perfecta estanqueidad y muros gruesos y sólidos. Generalmente, los refugios se construyen bajo tierra, para que el propio terreno sirva como protección contra las radiaciones. El aire debe ser introducido en el refugio a través de filtros y ha de existir un buen suministro de alimentos, agua y otras provisiones. Durante el verano de 1961, como parte de la campaña para el incremento de la defensa de los Estados Unidos, el presidente John F. Kennedy exhortó a los americanos a construir en sus casas refugios antiatómicos. En un período de unos nueve meses, se construyeron miles de refugios, aunque no se alcanzó el objetivo del programa, consistente en que cada familia tuviera su propio refugio. El empuje para crear refugios antiatómicos públicos registró, sin embargo, un éxito mayor. Durante los años 60, muchos edificios públicos fueron destinados a refugios antiatómicos. Los sótanos de dichos edificios estaban provistos de equipos para la detección de radiaciones nucleares, de alimentos y de otras provisiones. También en la Unión Soviética han sido construidos refugios antiatómicos, entre los que se encuentran las bien equipadas estaciones del metro de Moscú. En la mayor parte del resto de los países se ha prestado poca o ninguna atención a la construcción de este tipo de refugios.



En las fotografías de esta página vemos un pequeño refugio antiatómico monofamiliar, con cilindro de acceso a nivel del suelo. Se trata de un cajón de forma rectangular en acero, dotado de una sección de ingreso en la que se encuentran los equipos de ventilación y filtrado, además del equipo electrónico autónomo y de una ducha de descontaminación. La puerta que separa la sección de entrada de la habitable es de acero y hormigón con un espesor de 20 cm.

Además de la protección ofrecida por las capas de tierra y piedra que, si son lo suficientemente gruesas, proporcionan una primera pantalla capaz de detener las penetrantes radiaciones gamma, el refugio es capaz de garantizar la detención efectiva de la lluvia radiactiva. Abajo, la puerta de acceso a la sala de descontaminación y a los equipos eléctricos y de filtrado químico y radiactivo.



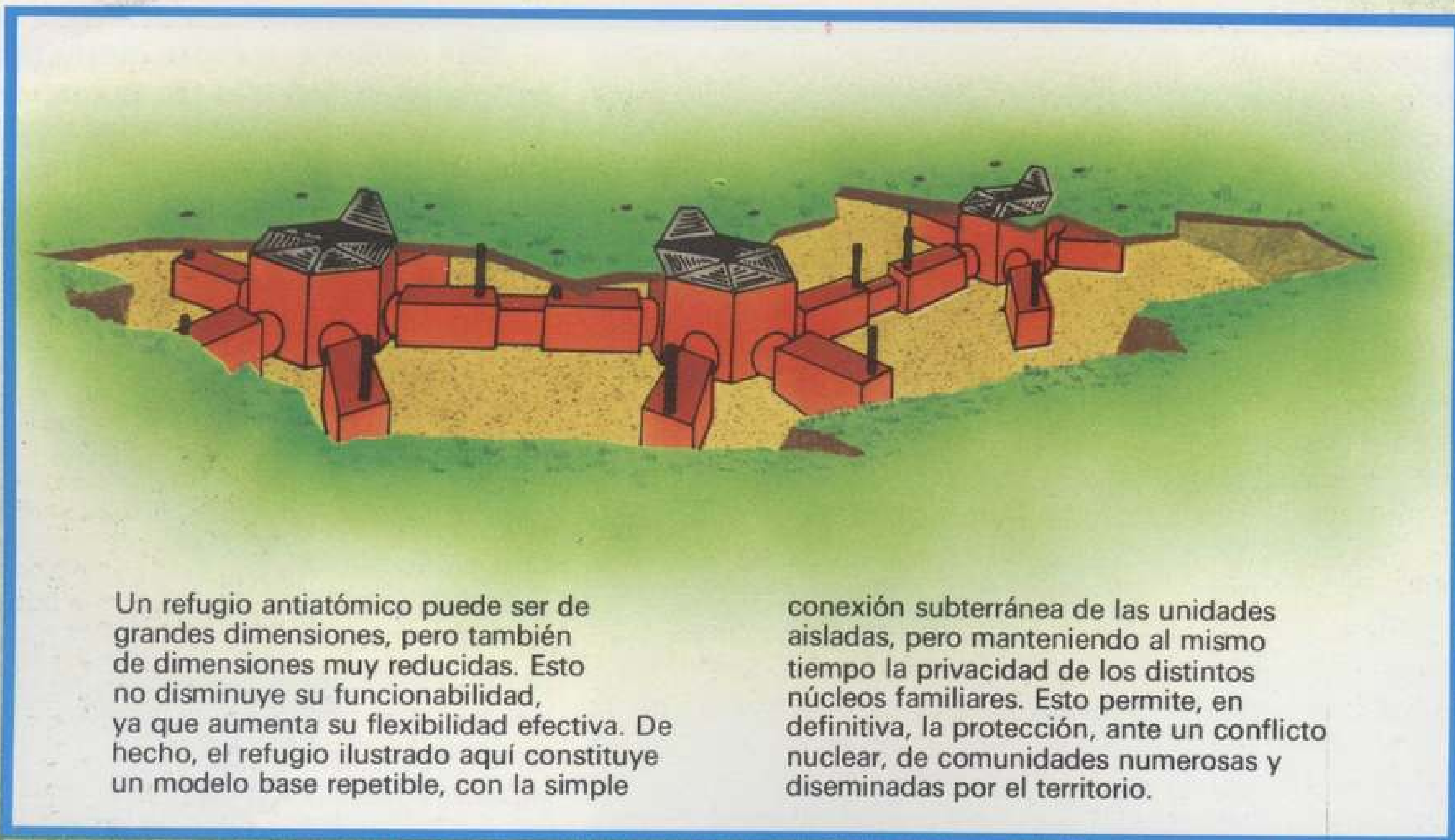


Como el ataque nuclear puede ser seguido por un ataque con armas convencionales, complementadas con la dispersión en el aire de agresores químicos y de sustancias biológicas particularmente patógenas para el hombre, como bacterias y virus, el refugio antiatómico está dotado de una columna de filtrado (sobre estas líneas) que utiliza una válvula a prueba de explosión.

Refugios realizados por empresas industriales Muchas sociedades estadounidenses respondieron con entusiasmo a la invitación para la realización de refugios antiatómicos. Una sociedad química instaló en sus fábricas refugios con capacidad suficiente para albergar 1.700 personas. Uno de estos refugios subterráneos (utilizado también como restaurante *self-service*) posee un sofisticado sistema de filtrado de aire, cerraduras herméticas en las puertas, equipos para suministrar energía de emergencia, dos camionetas e incluso un almacén de libros y de varios tipos de juegos y pasatiempos. Otras compañías, como la American Telephone and Telegraph, han desarrollado una red de refugios antiatómicos para proteger a sus altos directivos.

Aunque los refugios antiatómicos desempeñan una función importante en la defensa civil, su eficacia ha sido a menudo muy discutida. Por ejemplo, la explosión de una bomba de 50 megatones sobre una ciudad podría crear una tormenta de fuego con un diámetro de 160 kilómetros. En ese caso, la disponibilidad de refugios, tal como se dijo en los coloquios SALT, sirve únicamente para elegir entre dos opciones muy similares "si se quiere perecer frito rápidamente o asado a fuego lento."

Véase **Armas nucleares; Bomba atómica; Radiación; Radiactividad**



Un refugio antiatómico puede ser de grandes dimensiones, pero también de dimensiones muy reducidas. Esto no disminuye su funcionabilidad, ya que aumenta su flexibilidad efectiva. De hecho, el refugio ilustrado aquí constituye un modelo base repetible, con la simple conexión subterránea de las unidades aisladas, pero manteniendo al mismo tiempo la privacidad de los distintos núcleos familiares. Esto permite, en definitiva, la protección, ante un conflicto nuclear, de comunidades numerosas y diseminadas por el territorio.

En el dibujo central vemos una sección del refugio subterráneo en su efectiva situación y utilización: a la izquierda, el cilindro de entrada y, a la derecha, la columna de filtrado del aire. Las fotografías muestran el interior y el cuadro eléctrico.

Regadío, sistemas de

La forma de vida del hombre experimentó un cambio radical hace unos 10.000 años, con el descubrimiento de que era posible cultivar plantas nutritivas. La invención del bastón de sembrar y del arado primitivo hizo posible la preparación de los suelos para el cultivo, pero el hombre fue pronto consciente de que la insuficiencia de precipitaciones, o su irregularidad intra e inter anual, malograba sus cosechas, y recurrió al aporte artificial de agua para evitarlo. Así surgió la práctica del riego. El suministro sistemático de agua a tierras, de otro modo poco productivas o incluso improductivas, hizo posible transformar vastas extensiones áridas o poco fértiles en suelos productivos (actualmente se riegan en el mundo más de 160 millones de hectáreas).

Frente a las limitaciones de los ritmos agrícolas en las tierras de secano, que sólo se benefician del agua de lluvia (en muchas zonas inferior a los 500 mm anuales), los sistemas de regadío permiten aprovechar suelos casi áridos, evitando los perjuicios de la sequía cuando la climatología local es irregular, y elevan notablemente la producción por unidad de superficie. El riego asegura, hasta cierto punto, la cosecha, pero tiene también inconvenientes cuando se aplica de forma excesiva o incorrecta. En efecto, el riego continuado de una tierra llana o mal drenada y en clima seco puede hacer que las sales del agua evaporada perjudiquen directamente a las plantas, y que su acumulación progresiva eleve el nivel freático hasta aflorar las sales y esterilizar las tierras.

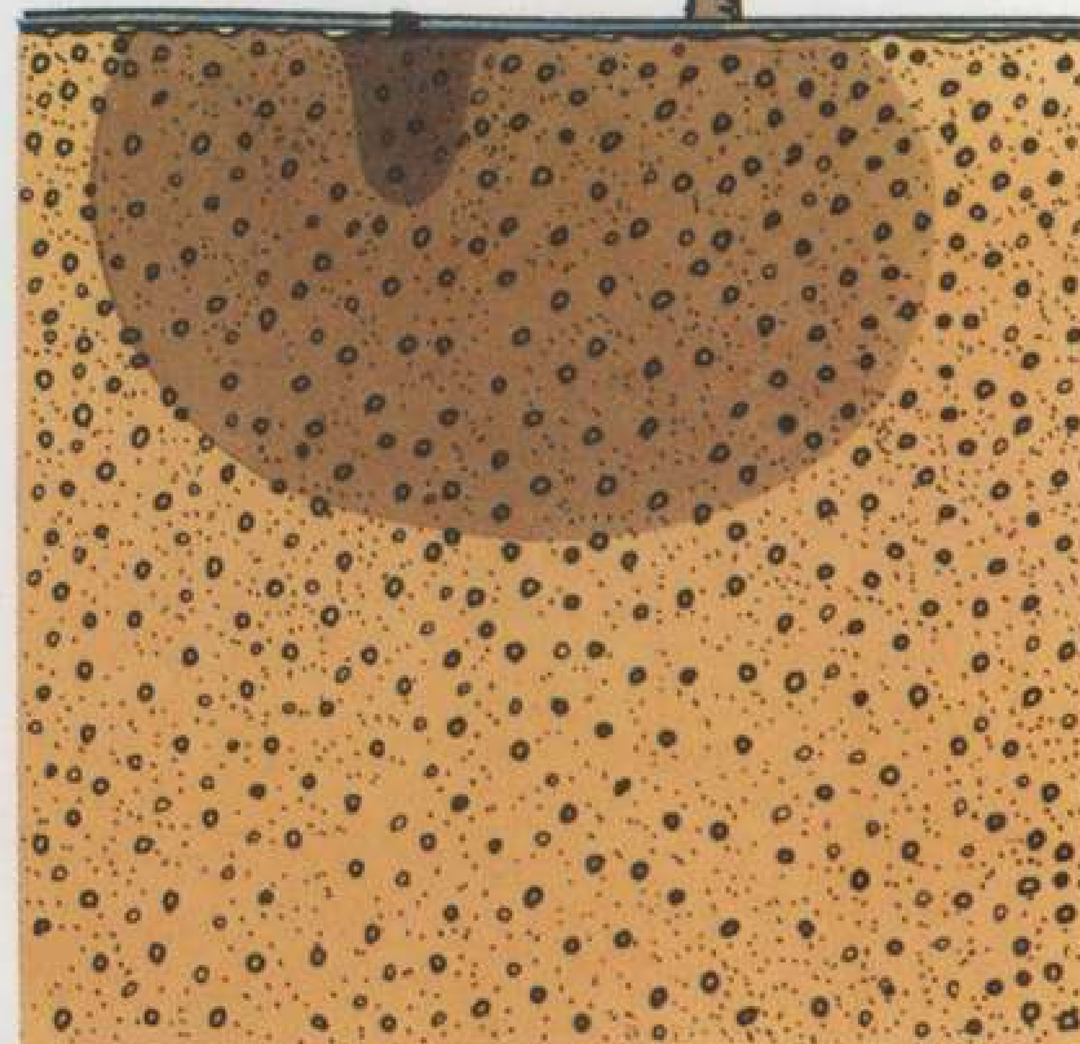
La cantidad de agua necesaria a un determinado suelo para compensar la evaporación, la transpiración de las plantas y el agua retenida en ellas se denomina *índice de evapotranspiración*, y varía según la naturaleza del suelo y el tipo de clima y de cultivos. Normalmente superior al volumen de precipitaciones, la diferencia se compensa con la irrigación, y en algunas zonas desérticas cercanas a grandes masas de agua, como el desierto chileno-peruano o el del Neguev, con el aporte del rocío captado por los vegetales.

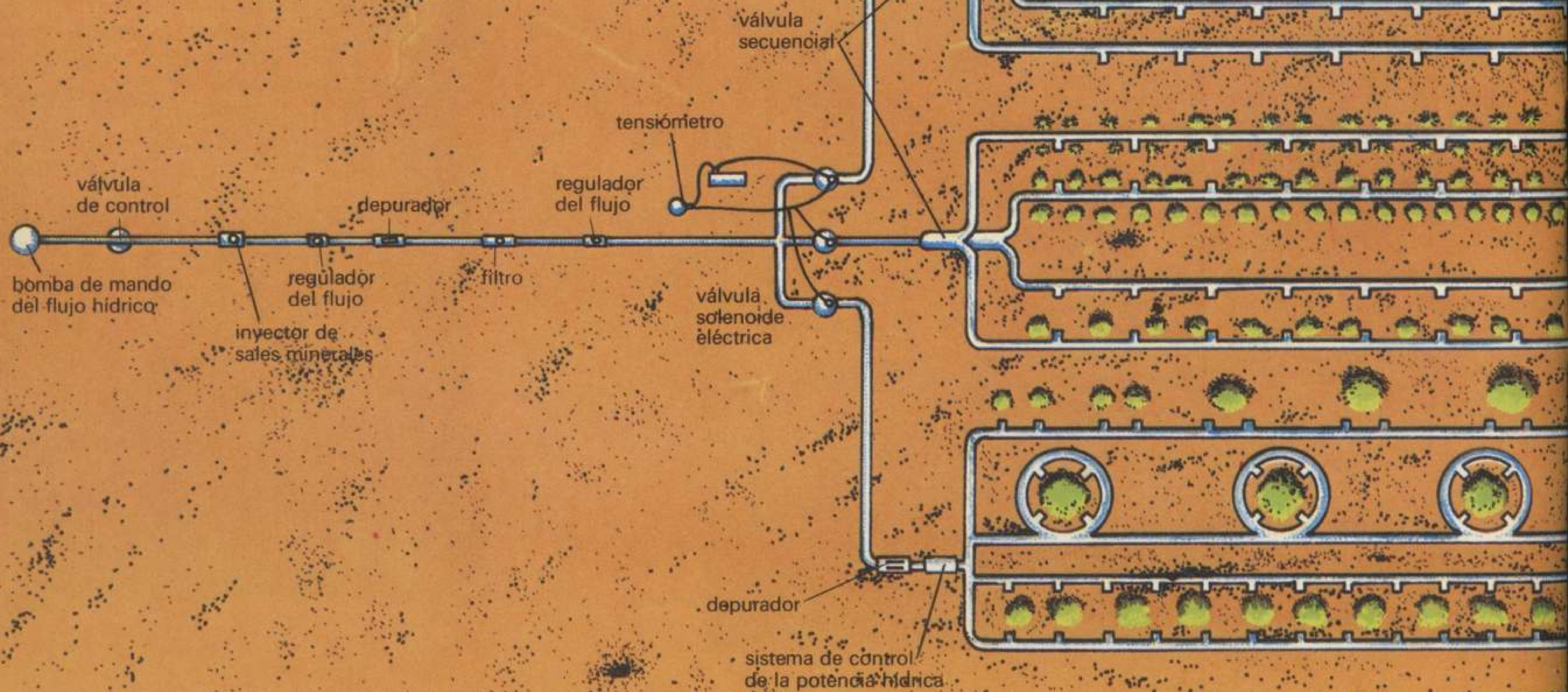
Los procedimientos tradicionales de riego ofrecen bajo rendimiento. La inundación de los campos o el riego por surcos desaprovechan más de la mitad del agua, además de no repartirla muy uniformemente. Hay que tener presente también la inversión de trabajo necesario para el mantenimiento y limpieza de las acequias y canales que conducen el agua hasta los campos. La aspersión —más moderna y algo más rentable: aprovecha el 70-80% del agua y lava las plantas— tiene el inconveniente de requerir una instalación de bombeo y distribución muy compleja y costosa.

El riego por aspersión se realiza mediante una serie de aspersores, elevados o apoyados en el suelo, desde los cuales cae el agua a modo de lluvia. Los aspersores están constituidos por unos tubos a través de los cuales circula el agua a presión, que sale con fuerza por finos orificios practicados en el tubo y se esparce por una extensa zona. Otras veces, el aspersor es una boquilla rotatoria acoplada al extremo del tubo a presión. La gran ventaja de los aspersores es su ligereza y movilidad. Las instalaciones fijas y más complejas se emplean además para fines complementarios, como, por ejemplo, mezclar insecticidas, herbicidas y líquidos fertilizantes con el agua de riego con el fin de extenderlos sobre los cultivos.

Más reciente, y hasta cierto punto más eficaz, es el sistema de goteo: estrechos tubos de plástico, perforados a la altura de cada planta, dejan escapar el agua de riego gota a gota; este tipo de riego aprovecha hasta el 95% del agua, requiere poca mano de obra, ahorra abono, al poder suministrarse disuelto con el agua, y no pre-







cisa instalación de bombeo, pero su principal inconveniente es la obturación de los orificios de riego.

Recientemente, los científicos se han interesado en el estudio de los efectos del rocío y la niebla sobre la vegetación, pues en algunas partes del mundo, como en la costa de Perú, son éstas las únicas fuentes de agua para las plantas. Los israelíes han hecho grandes progresos para el aprovechamiento del rocío en el desierto de Neguev, ya que se trata de una zona donde a la escasa precipitación total anual, que oscila entre 25 y 200 mm caídos en no más de diez días, hay que añadir las numerosas noches con rocío. Colocando láminas inclinadas de polietileno provistas, en su borde inferior, de un canalón que conduce a un hoyo donde se plantan las semillas, se puede recoger suficiente cantidad de rocío como para mantener vivas las plantas hasta las siguientes lluvias. Gracias a este sistema, existen actualmente en el desierto de Neguev auténticos bosques galería de eucaliptus, pino carrasco y otros árboles. El procedimiento es sencillo y evita costosas instalaciones.

Los cultivos hidropónicos, por último, constituyen los sistemas actuales de regadío más sofisticados. Se basan en el cultivo de plantas terrestres en soluciones de agua y sales minerales, en lugar de los métodos tradicionales de cultivo en tierra orgánica. Su perspectiva más interesante sería la independización de la agricultura respecto a la tierra, para convertirse en una actividad de explotación industrial masiva.

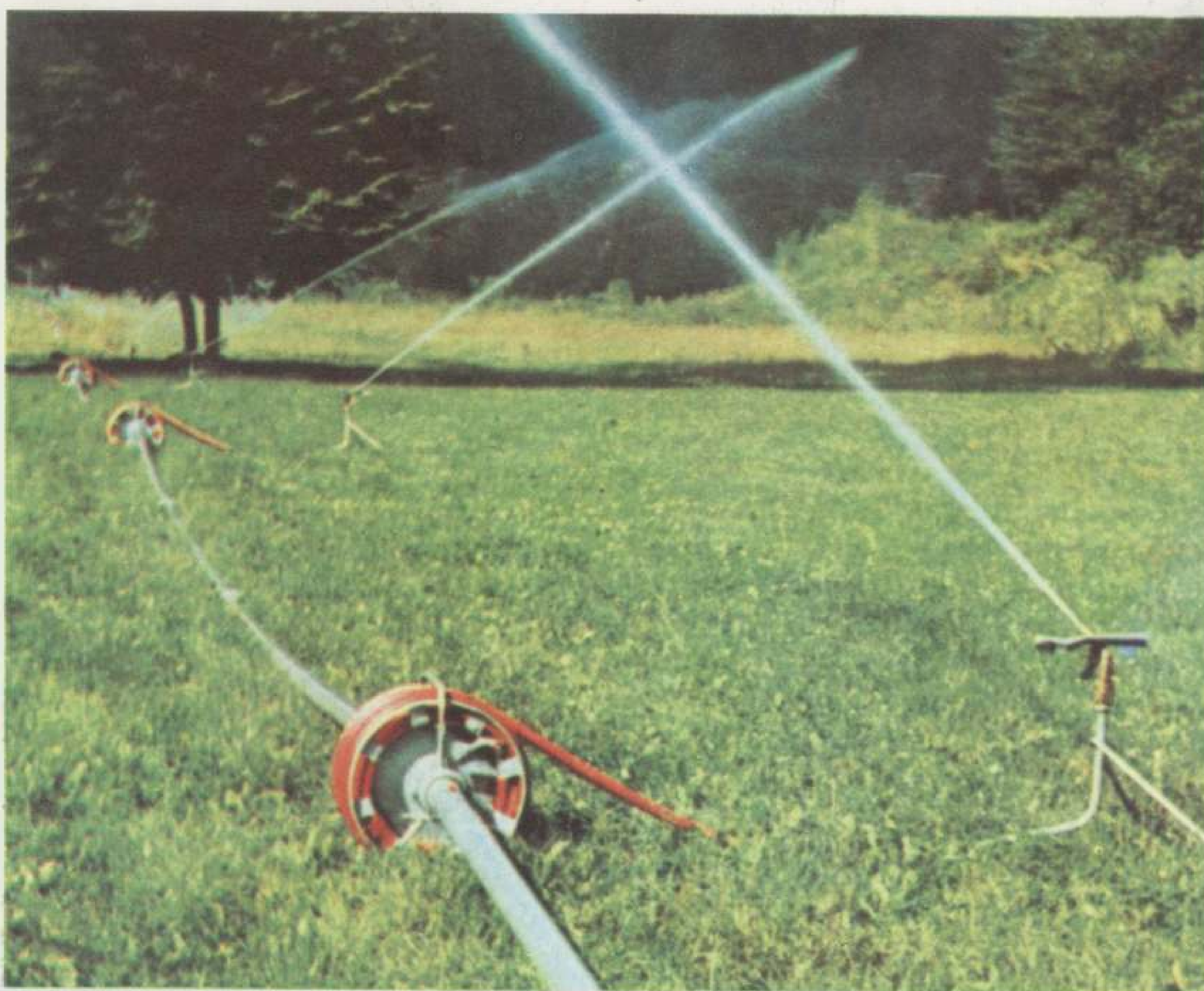
Elevación del agua para riego Es una realidad muy común que el agua destinada al riego tenga que ser elevada desde niveles inferiores a los de los campos de cultivo, bien porque el lecho del río o lago esté más bajo, bien porque la fuente de alimentación sean capas de agua subterráneas. Para solventar ese problema se han utilizado a lo largo de la historia muy diversos sistemas, conviviendo en la actualidad los más primitivos junto a los más sofisticados.

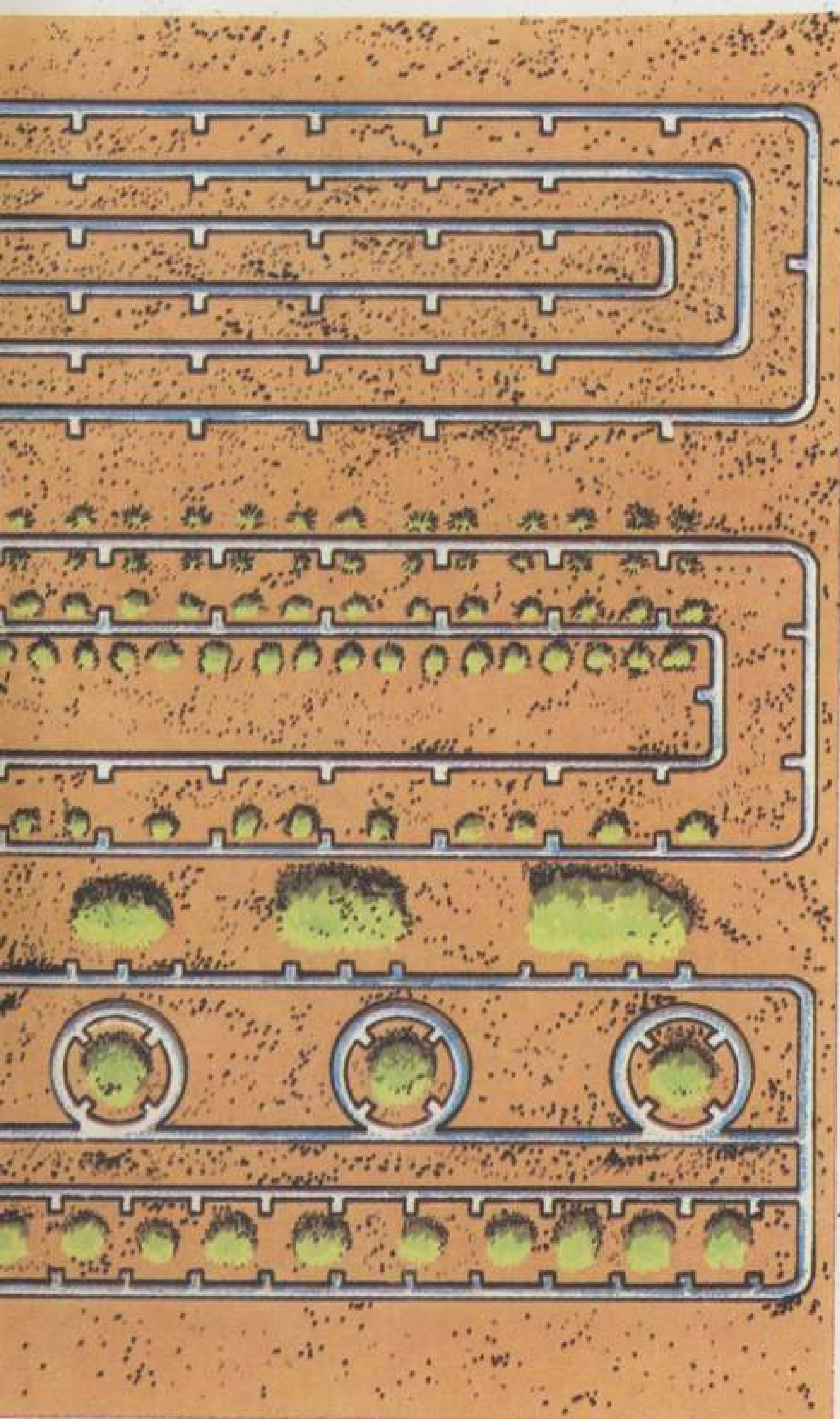
Entre los primeros dispositivos utilizados se encuentra el cigoñal, o *shadut*, de uso frecuente hacia el año 1000 a. de C., y que consistía en una pértiga provista de un cubo en un extremo, el cual se equilibraba con una piedra en el otro. El *tornillo de Arquímedes*, o cóclea, se empleó ya en el antiguo Egipto con el fin de elevar agua para riego, y aún se utiliza hoy en algunas partes del mundo. También se ha empleado desde tiempos antiguos la *saqiya*, una rueda de madera con cántaros de arcilla sujetos al borde. A partir de ella nació la noria persa, arrastrada por bueyes, que dispone de cangilones suspendidos de una cadena sin fin para extraer agua de los pozos y alimentar las acequias.

En muchas regiones, la única posibilidad de obtener agua son los pozos artesianos, que vienen siendo utilizados durante siglos para el riego.

Otro sistema antiguo para acumular agua con la que regar zonas áridas es el *qanaat*, o mina de agua: se trata de un túnel que recoge el agua subterránea de los estratos acuíferos en la falda de una montaña. El líquido fluye por gravedad a lo largo de túneles suavemente inclinados y, después, por canales hacia los campos que se riegan; a tramos, se practican pozos verticales de acceso desde la superficie hasta el túnel con objeto de poder efectuar las reparaciones necesarias y extraer tierras, lodos, etc. En Asia y en el norte de Africa existen miles de kilómetros de *qanaats*. Una versión más moderna de este mismo principio es el Colector Nacional de Aguas israelí, tubería de 240 km de longitud que conduce el agua desde el lago Tiberíades, en el norte del país, hasta la regiones áridas del desierto de Neguev, en el sur, mediante enormes tubos de hormigón de 2,74 m de diámetro.

En la actualidad, lo más usual es extraer el agua para riego con bombas mecánicas accionadas por motores eléctricos o de combustión interna o con grupos motobombas portátiles para elevar agua donde y cuando se necesite.





El sistema de distribución del agua constituye en la irrigación el aspecto tecnológico más importante. Mientras que en los albores de la "Revolución verde" los sistemas eran relativamente simples (arriba), actualmente existen complejos sistemas de distribución y difusión del agua. Uno de éstos, para riego por goteo, es el que se reproduce bajo estas líneas. Una compleja red de tubos provistos de orificios se coloca en el terreno paralela a las hileras de árboles frutales, presentando un orificio que permite la salida de agua junto a cada frutal. Como puede observarse en el esquema, cuando hay que regar árboles de gran tamaño el sistema proporciona agua a través e un tubo que rodea a cada árbol y que presenta varios orificios. Tubos de diverso diámetro son colocados cuando se trata de regar cultivos herbáceos. Distintos sistemas de válvulas, ordenados por reguladores de flujo, retardadores y aparatos de control ofrecen la posibilidad de programar los flujos. La distribución del agua en el suelo permite alcanzar todo el aparato radical de las plantas (página anterior, arriba). A veces, se añade al agua de riego fertilizantes y herbicidas.

Véase **Agricultura**

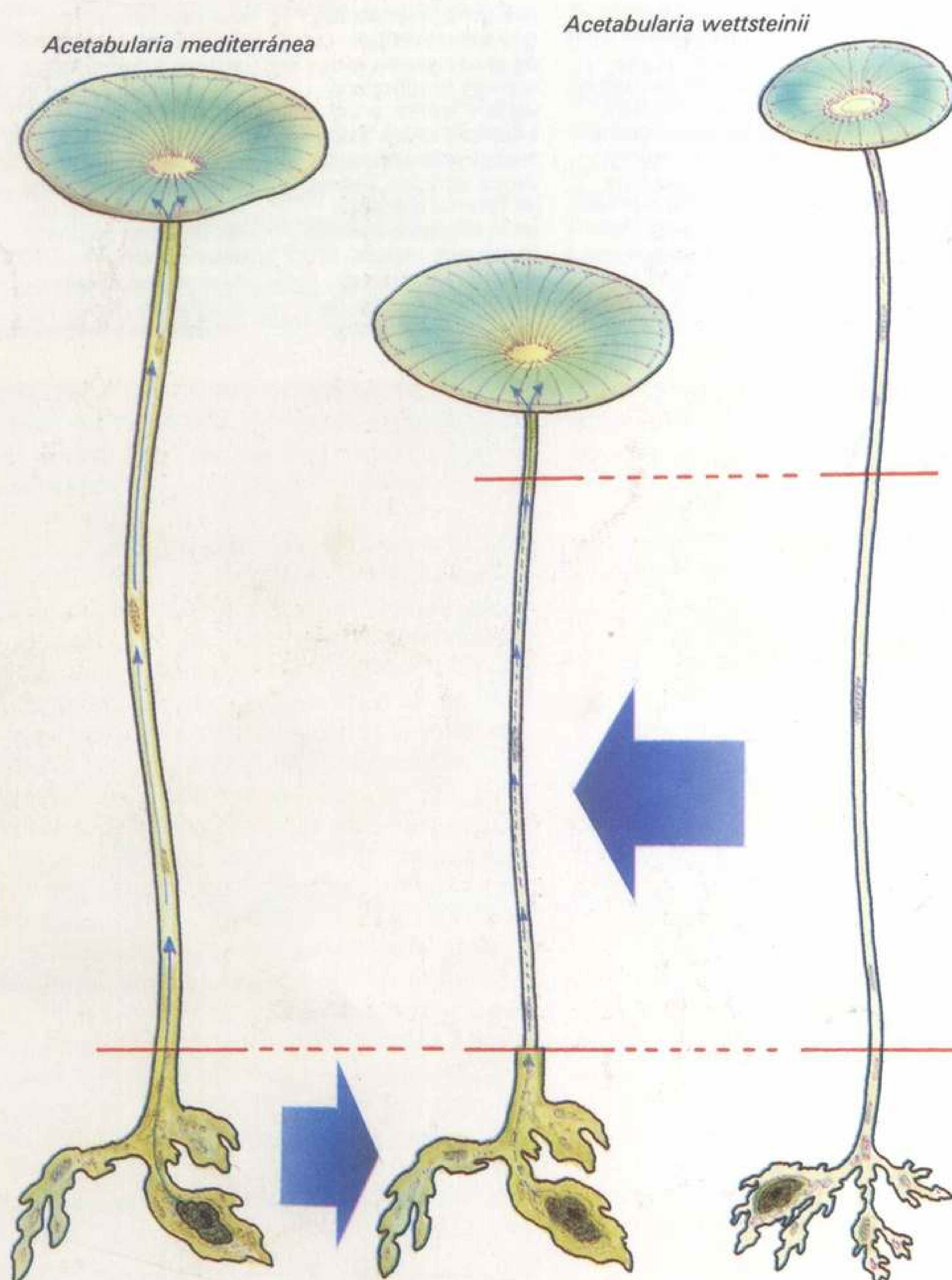
Regeneración biológica

Durante muchos años, los pescadores de la bahía de Chesapeake, en las costas de Estados Unidos, capturaban estrellas de mar y volvían a echarlas al agua después de haberlas cortado por la mitad. Creían que este sistema les serviría para desembarazarse de las estrellas, que atacaban a las ostras y asolaban los caladeros. De forma casual, un pescador descubrió que este sistema tenía en realidad el efecto de un bumerán, ya que la población de estrellas parecía multiplicarse en lugar de disminuir. Lo que ocurría, en realidad, era que las células de cada mitad de estrella comenzaban a reproducirse hasta regenerar, de forma espontánea, un nuevo animal entero. En el mundo animal hay frecuentes ejemplos de regeneración a todos los niveles. En muchos organismos simples, un pequeño fragmento del cuerpo puede regenerar todo el individuo, como en el caso de la estrella de mar. Hay otros animales cuya capacidad de regeneración es más restringida: son capaces de regenerar un miembro, o un órgano. En los animales más complejos, como los vertebrados, la capacidad de regeneración está mucho menos desarrollada, y se limita a simples funciones de reparación y mantenimiento del cuerpo. Por ejemplo, las aves pierden y reconstituyen sus plumas (pero no sus alas), y muchos mamíferos, en el curso de sus ciclos regenerativos, pierden estacionalmente sus revestimientos invernales, y vuelven a adquirirlos al acercarse el nuevo invierno. En los seres humanos, un ejemplo de regeneración es la reconstrucción de los tejidos dañados, o la sustitución de las células viejas por otras nuevas. Por otro lado, en el reino vegetal la regeneración es un fenómeno evidente y constante: cuando las plantas están sanas, forman continuamente nuevas hojas y ramas.

Una capacidad antigua Los procesos regenerativos se encuentran frecuentemente en los animales más primitivos, menos evolucionados. Esto hizo pensar a los científicos que la regeneración de los miembros era una posibilidad intrínseca de todos los organismos, que se fue perdiendo al evolucionar la vida hacia formas más complejas.

Por ejemplo, las amebas y ciliados, que son organismos simples formados por una sola célula, reconstituyen automáticamente el fluido celular o el citoplasma cada vez que sufren una pérdida de estos componentes. Asimismo, muchos organismos marinos y muchos anfibios tienen un notable poder regenerador. Los caracoles pueden hacer crecer sus antenas; las almejas reconstruyen sus branquias; las ostras, su concha, y los pulpos, sus tentáculos. Las salamandras presentan una notable capacidad para reconstruir sus miembros, y lo mismo ocurre con los renacuajos, aunque éstos pierden su capacidad regeneradora al transformarse en ranas. Para muchos animales, esta capacidad puede ser un fenómeno de adaptación. La lagartija puede desprenderse de su cola cuando es atacada para despistar a su agresor. Seguidamente, entran en funcionamiento los mecanismos regenerativos y en breve tiempo se produce la reconstrucción total del miembro amputado.

Reconstrucción celular Cuando se reconstruye una parte que falta, hacia el mu-





El alga *Acetabularia mediterranea* está formada por una sola célula, y tiene una gran capacidad de regeneración. Se han realizado experimentos con ella, injertando entre la raíz y el sombrerillo un tallo de otra especie, por ejemplo, de la *Acetabularia wettsteinii*, que tiene un sombrerillo más pequeño. El resultado ha sido la regeneración de un sombrerillo grande. En las "raíces" se encuentra el núcleo celular, por lo que se ha concluido que la regeneración de las partes que faltan se efectúa siguiendo instrucciones del núcleo, que es el que contiene el patrimonio genético. La regeneración es un fenómeno muy frecuente en la Naturaleza, gracias al cual se pueden reparar con eficacia lesiones y amputaciones. A raíz de numerosas observaciones del fenómeno de la regeneración en estrellas de mar o en lagartijas, se empezaron a realizar experimentos para comprobar la posibilidad de renovar órganos enteros en un proceso de rejuvenecimiento.

ñón afluyen glóbulos rojos que vuelven la zona afectada a su primitivo estadio indiferenciado. Este reagrupamiento de células, llamado *blastema*, se desarrolla gradualmente y termina por adquirir la forma y la función específicas de la parte del cuerpo que sustituye. Las células del blastema pueden recorrer de nuevo todos los estadios de crecimiento de las células que formaban en un principio el órgano o la extremidad. En los mamíferos, en cambio, no se forman normalmente blastemas en los puntos de amputación. Este hecho puede explicar la capacidad que tienen los seres humanos de regenerar varios tipos de tejidos, pero nunca extremidades u órganos enteros.

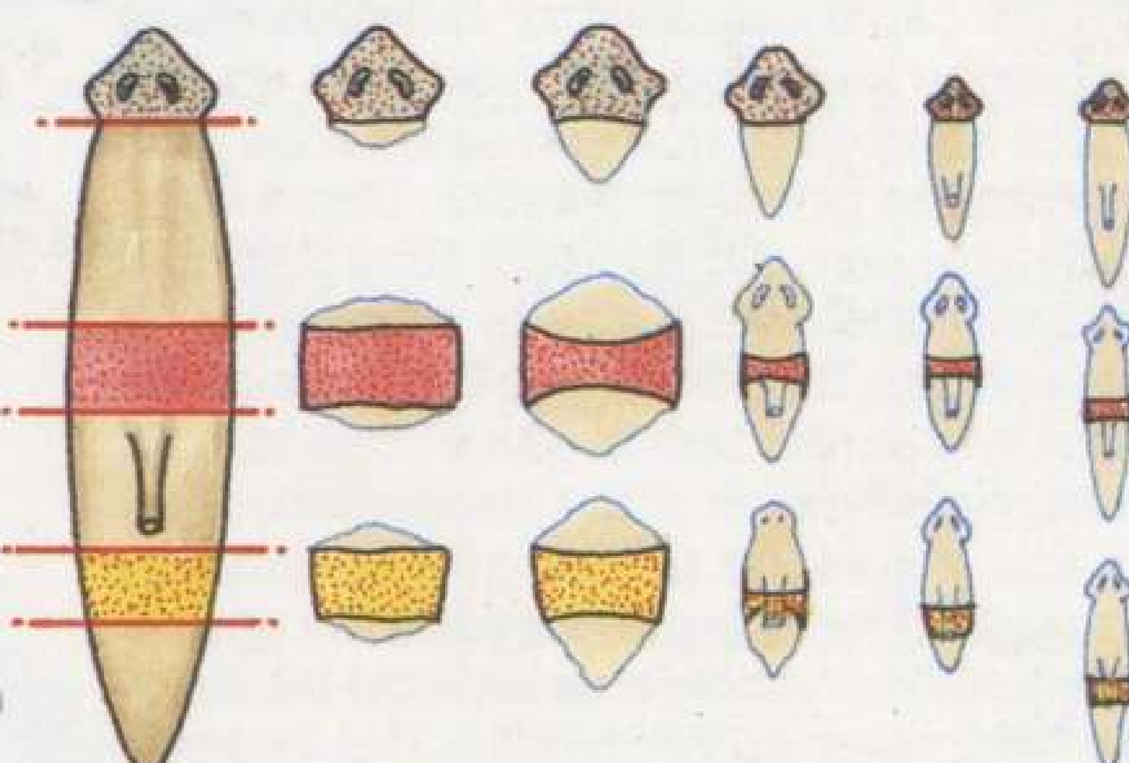
De todas formas, hay algunos científicos que sostienen que de alguna manera se pueden reactivar los mecanismos básicos de la regeneración de extremidades y órganos, incluso en los animales más evolucionados, mediante corrientes eléctricas, por ejemplo, que serían capaces de desencadenar el proceso de regeneración.

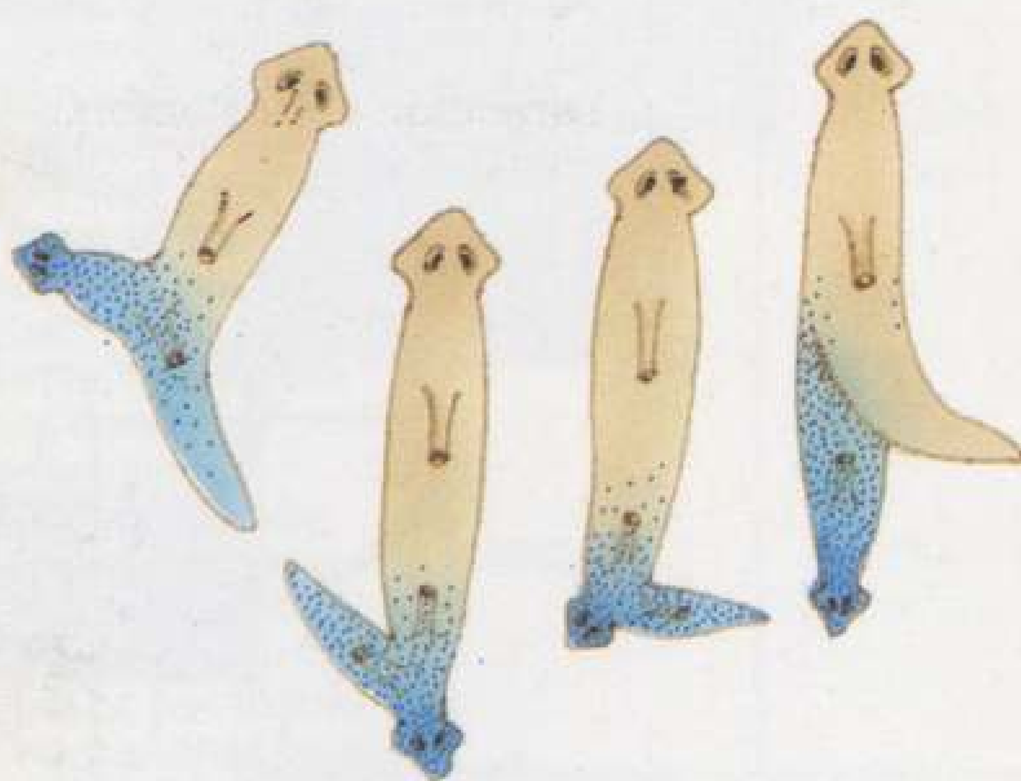
El "cuerpo eléctrico" Esa posibilidad arranca de un experimento realizado por un grupo de investigadores que lograron regenerar artificialmente las patas de una rana haciendo pasar una corriente eléctrica por la zona de la amputación (las ranas no son capaces de regenerar espontáneamente sus extremidades). También se ha intentado regenerar artificialmente las extremidades de los ratones.

A partir de estos primeros datos experimentales, se ha descubierto que existe un débil campo eléctrico que rodea el cuerpo de los anfibios en el momento en que regeneran la parte que falta. Se ha visto, además, que la corriente aumenta sensiblemente en la zona que se está regenerando, y cuando la regeneración ha terminado desciende a un nivel de intensidad mucho menor. Estos hechos han llevado a muchos investigadores a aventurar la hipótesis de que se puede intervenir por medio de electroterapia para curar los huesos en el hombre e inducir el crecimiento de sus extremidades.

Véase **Bioelectricidad**

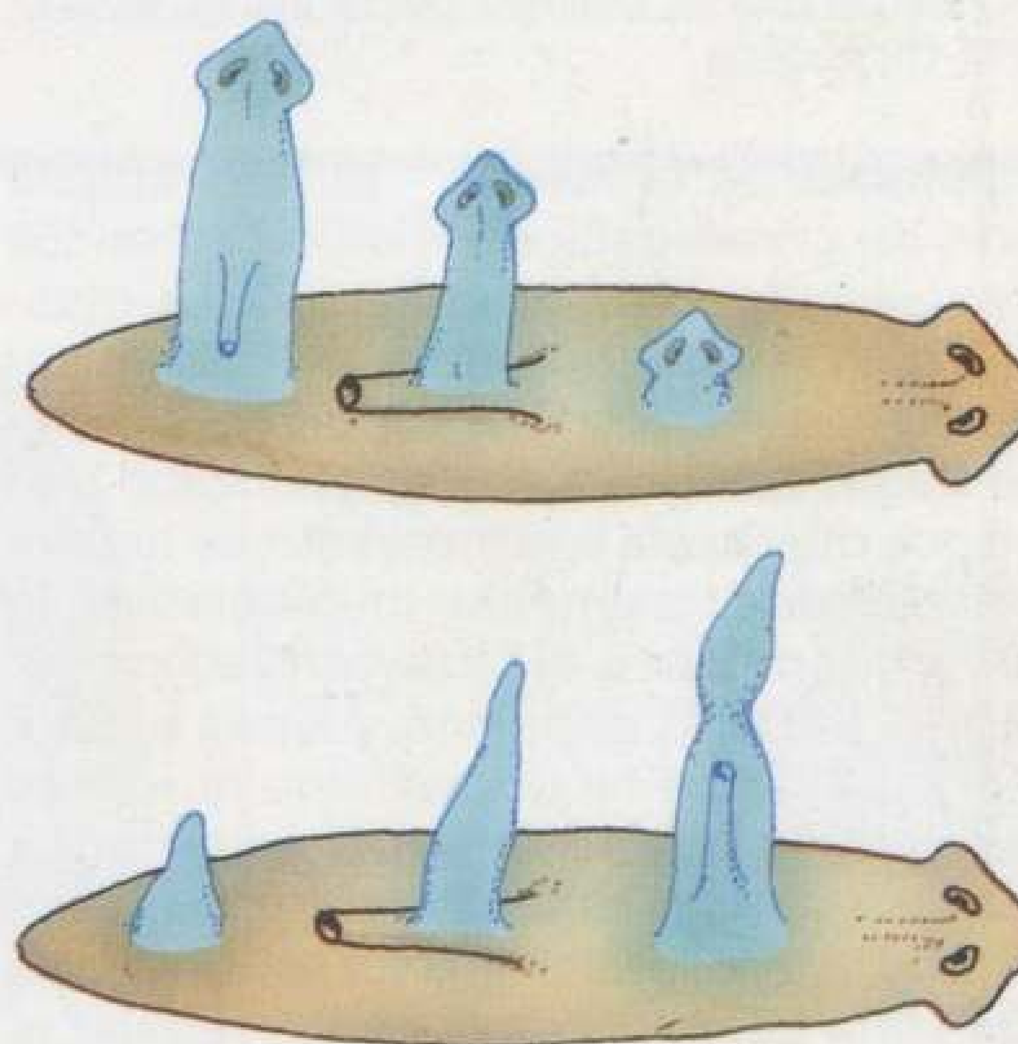
El cuerpo de la planaria tiene tantas células sin diferenciar (capaces de regenerar las partes amputadas) que se puede llevar a cabo toda clase de experimentos de regeneración con ella. Se trata de un gusano plano muy fácil de criar en pequeños recipientes de agua dulce, y que se ha fragmentado de todas las formas posibles para comprobar su capacidad de regeneración. Incluso cuando los fragmentos son muy pequeños se llega a regenerar un individuo completo de pequeñas dimensiones, que luego crece hasta formar un ejemplar de dimensiones normales. En los dibujos de la derecha se puede observar que la orientación es perfecta, es decir, que la cabeza y la cola se regeneran respetando la polaridad del fragmento de partida. De estos experimentos se ha extraído una regla general bien sencilla: cada fragmento vuelve a formar las partes perdidas y regenera rápidamente el animal completo. La regeneración de las colas, que tiene lugar tras haber efectuado unos cortes oblicuos a lo largo del cuerpo plano de la planaria, demuestra que las células *totipotentes* están "orientadas" en su actividad.

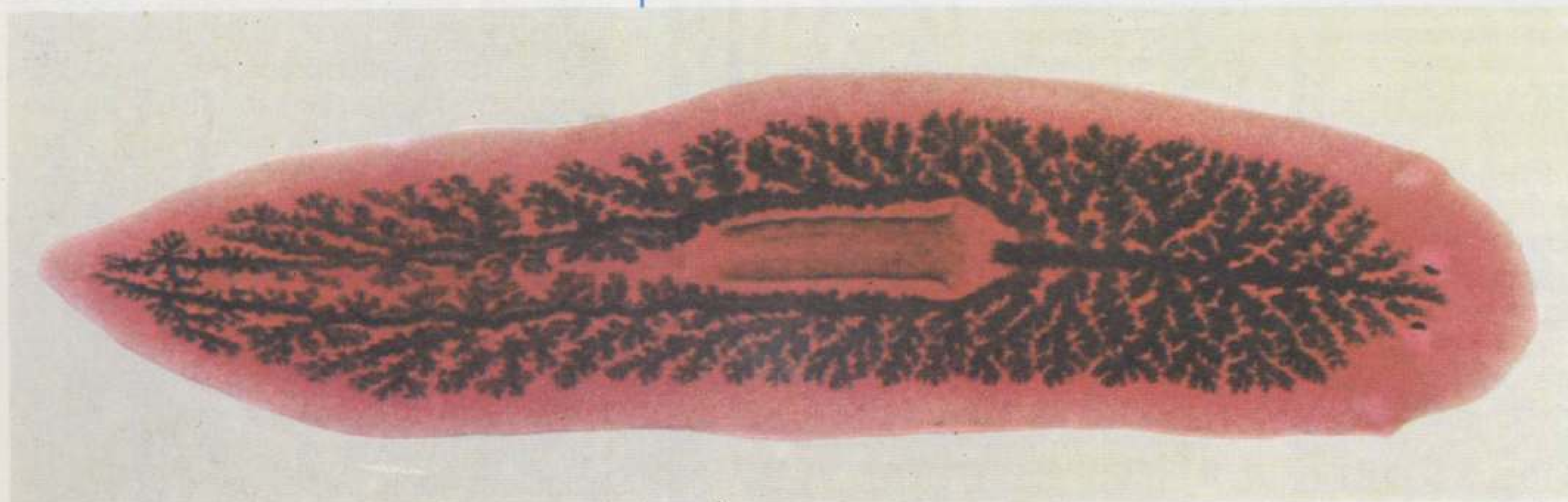




Efectuando una serie de trasplantes de fragmentos en distintas zonas del cuerpo de una planaria, se puede observar que es el punto de trasplante el que "decide" el destino efectivo de los fragmentos. Por lo tanto, hay polaridad en el organismo que los recibe. Dicha polaridad tiene una influencia decisiva en la producción y regeneración de los tejidos injertados. Los estudios de este tipo tienen un gran interés, no sólo para entender mejor el proceso de regeneración, sino para comprender los mecanismos que regulan la reproducción celular. Las conclusiones que se han sacado de estos experimentos se han podido aplicar a otros de gran utilidad, como los que se llevan a cabo sobre el control del crecimiento de los tumores, o sobre las técnicas de trasplantes. Probablemente, los mecanismos de regulación son similares a los que actúan en el desarrollo embrionario.

Si se trasplantan cabezas y colas a lo largo del cuerpo de una planaria, se ve claramente que la tendencia a formar una cabeza es máxima cerca de la cola, y la tendencia a formar una cola es máxima cerca de la cabeza. Las células que regeneran una parte del animal son totipotentes, pero también están influidas por el lugar en el que se encuentran situadas en el momento de poner en funcionamiento sus potencialidades regenerativas. En una planaria adulta, con el cuerpo bien diferenciado, que no vive más de un año, hay células capaces de rehacer todo su cuerpo si las condiciones son favorables para la regeneración. Tanto los ojos como la faringe, la epidermis o la musculatura se pueden formar de nuevo a partir de unas células que se han identificado como *neoblastos*, o células de regeneración, localizadas en el parénquima.





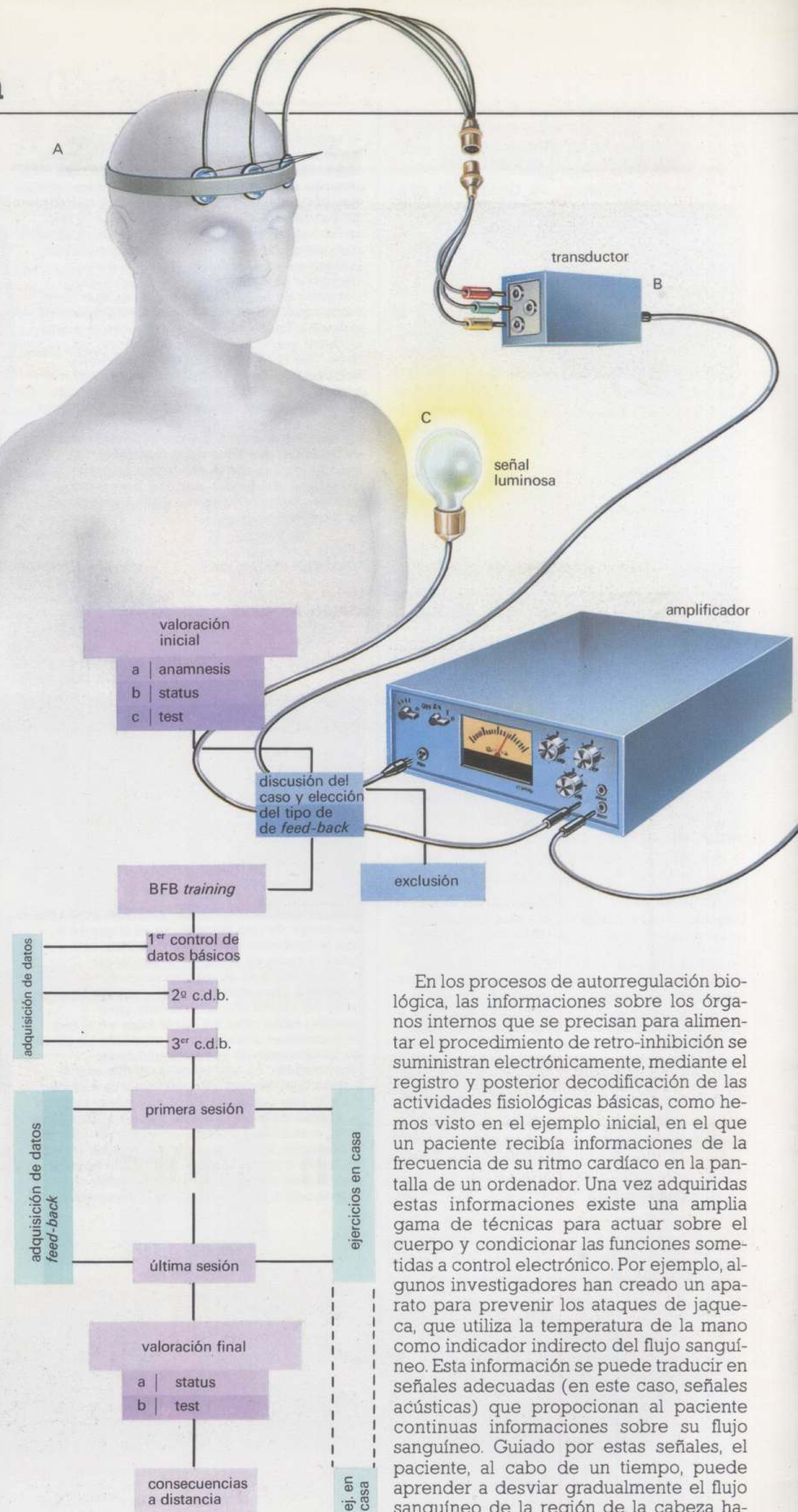
Regulación biológica

El paciente yace en el lecho del hospital y observa los destellos luminosos que se producen en la pantalla de un ordenador, a los pies de su cama. A su lado hay un cardiotaquímetro, que convierte los latidos cardíacos del paciente en impulsos eléctricos, que son analizados posteriormente por el ordenador. Las señales que emite este último están sincronizadas con los latidos del paciente y constituyen una especie de código de fácil comprensión. Una luz roja indica que el corazón del paciente late a un ritmo demasiado rápido, una luz verde indica que el ritmo es demasiado lento y una luz amarilla que es normal. Observando atentamente las luces que aparecen en la pantalla del ordenador, el paciente puede "autorregular" el funcionamiento de su propio cuerpo y conseguir que su ritmo cardíaco vuelva a ser estable y normal. Se trata de un caso de autorregulación biológica para controlar el ritmo cardíaco, una terapia que en ciertos casos (como cuando hay una fuerte arritmia) puede salvar la vida a una persona.

Hasta hace poco, la idea de que se pudiera regular voluntariamente el propio corazón tropezaba con las reglas tradicionales de la Medicina, ya que durante mucho tiempo se ha creído que las funciones autónomas, como las del sistema digestivo, circulatorio o excretor, eran totalmente independientes del control voluntario del individuo. Esta forma de ver las cosas ha cambiado a raíz de las investigaciones realizadas en el campo de la autorregulación biológica.

Poderes de la mente En una amplia serie de investigaciones realizadas en los años sesenta, científicos de todo el mundo descubrieron que gracias a las técnicas de autorregulación un individuo podía llegar a regular ciertos procesos biológicos que, hasta ese momento, se habían considerado totalmente involuntarios: la presión sanguínea, el ritmo cardíaco, la actividad renal, la digestión y otras funciones. También se ha descubierto que algunos individuos, previamente adiestrados, pueden influir simultáneamente sobre más de una de estas funciones, de modo que sería posible, por ejemplo, regular al mismo tiempo dos funciones relacionadas entre sí, como el ritmo cardíaco y la presión sanguínea.

En la autorregulación biológica tiene una importancia fundamental el mecanismo de retro-inhibición (*feed-back*), a través del cual un sistema de cualquier tipo, tanto una máquina como un ser vivo, se autorregula gracias a las informaciones obtenidas a partir de un continuo análisis de sus propias prestaciones y/o de las respuestas del ambiente. Un típico ejemplo de regulación por retro-inhibición es el funcionamiento de un termostato, que regula automáticamente la temperatura de un ambiente gracias a un proceso de lectura continua, partiendo de un valor preestablecido, anulando con su acción las desviaciones que se van registrando.



En los procesos de autorregulación biológica, las informaciones sobre los órganos internos que se precisan para alimentar el procedimiento de retro-inhibición se suministran electrónicamente, mediante el registro y posterior decodificación de las actividades fisiológicas básicas, como hemos visto en el ejemplo inicial, en el que un paciente recibía informaciones de la frecuencia de su ritmo cardíaco en la pantalla de un ordenador. Una vez adquiridas estas informaciones existe una amplia gama de técnicas para actuar sobre el cuerpo y condicionar las funciones sometidas a control electrónico. Por ejemplo, algunos investigadores han creado un aparato para prevenir los ataques de jaqueca, que utiliza la temperatura de la mano como indicador indirecto del flujo sanguíneo. Esta información se puede traducir en señales adecuadas (en este caso, señales acústicas) que propocionan al paciente continuas informaciones sobre su flujo sanguíneo. Guiado por estas señales, el paciente, al cabo de un tiempo, puede aprender a desviar gradualmente el flujo sanguíneo de la región de la cabeza hacia otras partes de su cuerpo, atenuando de esta forma la presión que da origen a los dolores de cabeza. Con la práctica, esta operación aparentemente difícil se

puede efectuar también sin la ayuda de instrumentos electrónicos, y acaba convirtiéndose en una reacción espontánea contra el peligro de jaqueca.

Algunos estudiosos de la autorregulación biológica han observado, si bien ya había sido apuntado por otros médicos, que algunos de los sistemas de respuesta del organismo actúan equivocadamente debido al debilitamiento que produce un estado continuo de *stress*, que conduce a reacciones psicosomáticas disfuncionales, fisiológicamente inadecuadas. Por medio de la autorregulación, sostienen los defensores de esta disciplina, las respuestas "equivocadas" debidas al *stress* se pueden corregir hasta llegar a las respuestas adecuadas.

Hasta el momento, la autorregulación ha supuesto una notable contribución a la terapia de varios tipos de molestias. A pesar de su reciente aparición, esta técnica curativa ha permitido que distintos tipos de pacientes puedan controlar los trastornos causados por una presión sanguínea excesiva y por una marcada arritmia cardíaca, evitar ataques de jaqueca, regular y activar los procesos digestivos y suprimir o atenuar ataques de asma; en ciertos casos la autorregulación biológica se ha utilizado incluso en el proceso de reactivación de músculos paralizados.

De todas formas, el avance más espectacular de esta nueva disciplina es el derivado de los descubrimientos que se están produciendo en relación con las ondas cerebrales.

Se ha comprobado, con la ayuda del electroencefalógrafo, que algunos sujetos han demostrado ser capaces de condicionar la actividad electroquímica de su cerebro hasta alcanzar determinados estados mentales. Algunos de ellos, incluso, parecían capaces, tras un entrenamiento, de provocar la aparición en su cerebro de ondas alfa, un estado de vigilancia pasiva pero muy receptiva, relacionado con la meditación, la hipnosis y una elevada creatividad.

Véase **Cerebro; Jaqueca; Presión arterial**

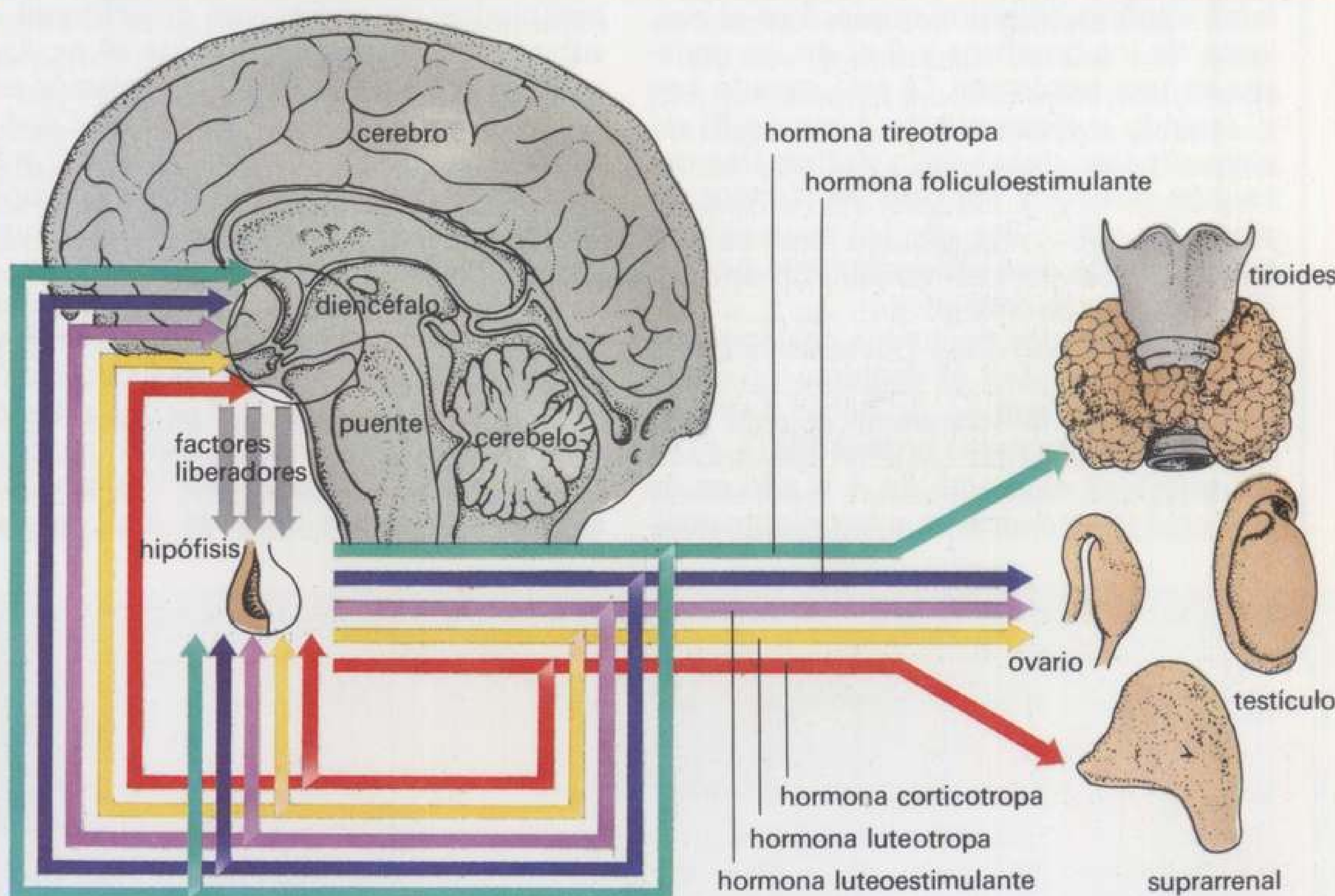


señal acústica

Gracias a la autorregulación, un individuo puede llegar a controlar algunos procesos fisiológicos que, hasta el momento, se consideraban totalmente involuntarios. En la figura de la página anterior, el mecanismo de la acción biorreguladora: en la cabeza del paciente se registran los biopotenciales (A), que se amplifican e integran en un transductor (B) y se utilizan para poner en marcha señales luminosas (C) y acústicas (D), gracias a las cuales el paciente puede controlar a cada instante sus condiciones fisiológicas. De esta forma, primero con ayuda del terapeuta y luego por sí mismo, el paciente es capaz de controlar también funciones como la circulación de la sangre o el estado de la contracción muscular. Debajo, esquema del tratamiento: la parte inicial consta de informaciones generales y *test* de control; en el centro aparecen los datos conseguidos con la terapia, y, por último, las valoraciones finales.

TRATAMIENTO DE *BIOFEED-BACK* DE LA TORTICOLIS ESPASMODICA

Autor	Problema clínico	Sesiones	Técnica	Respuesta clínica
Brundy y col.	tortícolis espasmódica	3 a 5 por semana durante 8 a 12 semanas	EMG músculos esternocleido-mastoideos: *feed-back* audiovisual	mejora en 2/3 de los pacientes
Cleeland	"	6-23	EMG músculos esternocleido-mastoideos; *feed-back* audiovisual *shock*	notable mejora en 4 pacientes, moderada en otros tantos
Jankel	"	20	EMG músculos esternocleido-mastoideos; *feed-back* auditivo	mejora
Russ	"	16 (3 + 13)	EMG frontal + EMG esternocleido-mastoideos; *feed-back* auditivo, *shock*	mejora
Williams	"	5	frecuencia cardíaca *feed-back* auditivo	mejora



El hipotálamo produce ciertas sustancias que estimulan a la porción anterior de la hipófisis para que segregue algunas hormonas llamadas *gonadotropas*. Estas hormonas son conducidas por el aparato circulatorio a las distintas partes del organismo. Cuando llegan a la hipófisis y al hipotálamo, su concentración regula y puede llegar a inhibir la producción de hormonas por parte de estos últimos.

Relación, correspondencia y aplicación

En el lenguaje ordinario es de uso cotidiano la palabra *relación* para significar algún tipo de *conexión*, *vinculación* o *"tener que ver"* una idea, cosa o persona con otra. Así, por ejemplo, se habla de *"relaciones políticas"* o de *"relaciones sociales"*. Análogamente se usan los términos *función* y *correspondencia* para significar que a una cosa *"le toca"* o *"le corresponde"* otra o que ésta *"depende"* de aquélla. Curiosamente, estos términos son fundamentales en la filosofía y en la ciencia y, muy especialmente, son importantes y característicos de la lógica y la matemática. Es más, en contra de lo que pueda suponerse, los usos que hace hoy la matemática de dichos términos no son abstracciones de los que son propios del lenguaje usual, sino más bien al contrario: éstos son, por lo menos en ciertos contextos, trivialización y vulgarización de aquéllos. Piénsese en la significación de expresiones tales como: "existe una *relación* entre peso y precio"; "a este puesto le *corresponde* tal salario"; o "el espacio recorrido es *función* del tiempo". De todos modos, la propia ciencia ha tardado siglos en dar concreción y rigor a los conceptos de *relación* y *correspondencia*, a pesar de usarlos más o menos explícita y precisamente desde antiguo, ya que se trata de conceptos primitivos que se pueden usar de un modo más o menos espontáneo e intuitivo pero que difícilmente pueden definirse a partir de otros más elementales de modo simple y a la vez riguroso.

El concepto de relación La idea de que existe una relación binaria entre elementos de un conjunto A y otro B es bastante intuitiva. Si, por ejemplo, A es el conjunto de los hombres y B el de las mujeres de una población, "x está casado con y" (siendo x elemento de A e y de B) supone un caso típico de la misma. Una definición directa y sin caer en círculos viciosos es difícil. Por ello los matemáticos han recurrido a un procedimiento basado en la Teoría de conjuntos.

Sean A y B dos conjuntos cualesquiera no vacíos; sea $A \times B$ el conjunto producto cartesiano de ambos; es decir: $A \times B$ está formado por los pares ordenados (x, y) tales que x es elemento de A e y lo es de B. Si en $A \times B$ se define un subconjunto cualquiera G, queda automáticamente determinada una relación binaria en A y B de la siguiente forma:

$$x \mathcal{R} y \quad \text{si y sólo si} \quad (x, y) \in G$$

(la notación $x\mathcal{R}y$ significa "x está relacionado, según $\mathcal{R}$, con y").

Es obvio que, si se quiere, puede distinguirse la relación $\mathcal{R}$ del conjunto G que la define; pero tampoco hay ningún inconveniente, en muchos casos, en confundir ambos. Es más: puede establecerse un álgebra de las relaciones binarias en A y B que es isomorfa con la de los subconjuntos de $A \times B$.

Así, por ejemplo, se dice que una relación $\mathcal{R}_1$ está contenida en la $\mathcal{R}_2$ si todo par que cumple $\mathcal{R}_1$ cumple $\mathcal{R}_2$. O que son iguales si son cumplidas por los mismos pares. Del mismo modo cabe definir la unión y la intersección de relaciones. La relación *vacía* es la que no cumple ningún par y la *universal* la que cumplen todos los pares (x, y) de $A \times B$.

Dada una relación, $\mathcal{R}$, se pueden definir a partir de ella otras. Por ejemplo, la negación de $\mathcal{R}$, denotada como $\mathcal{R}'$, que es cumplida por los pares para los que no se cumple $x\mathcal{R}y$. Naturalmente, los subconjuntos de $A \times B$ representativos de $\mathcal{R}$ y $\mathcal{R}'$ son complementarios. Por otra parte, se define la inversa de $\mathcal{R}$, denotada $\mathcal{R}^{-1}$, que es una relación entre B y A, del siguiente modo:

$$y \mathcal{R}^{-1} x \quad \text{si y sólo si} \quad x \mathcal{R} y$$

El conjunto representativo de $\mathcal{R}^{-1}$ en $B \times A$ está formado por los mismos pares cambiados de orden que constituyen el subconjunto representativo de $\mathcal{R}$ en $A \times B$.

A veces es útil *restringir* la relación entre A y B al caso de C y D, siendo $C \subset A$ y $D \subset B$. Se llama *"restricción de $\mathcal{R}$ a C y D"* la relación entre C y D tal que es cumplida por los pares (x, y) de $C \times D$ que cumplen $\mathcal{R}$ definida en $A \times B$.

También se puede definir el producto de relaciones del siguiente modo. Si $\mathcal{R}$ es una relación en A y B y $\mathcal{S}$ es una relación en B y C se tiene que $\mathcal{R}\mathcal{S}$ es una relación en A y C definida del siguiente modo: x de A y z de C cumplen $x(\mathcal{R}\mathcal{S})z$ si y sólo si existe al menos un y de B tal que se cumplen $x\mathcal{R}y$ e $y\mathcal{S}z$. Este producto goza, fundamentalmente y entre otras, de la propiedad de ser asociativo, cuando se ha extendido la definición a tres o más relaciones.

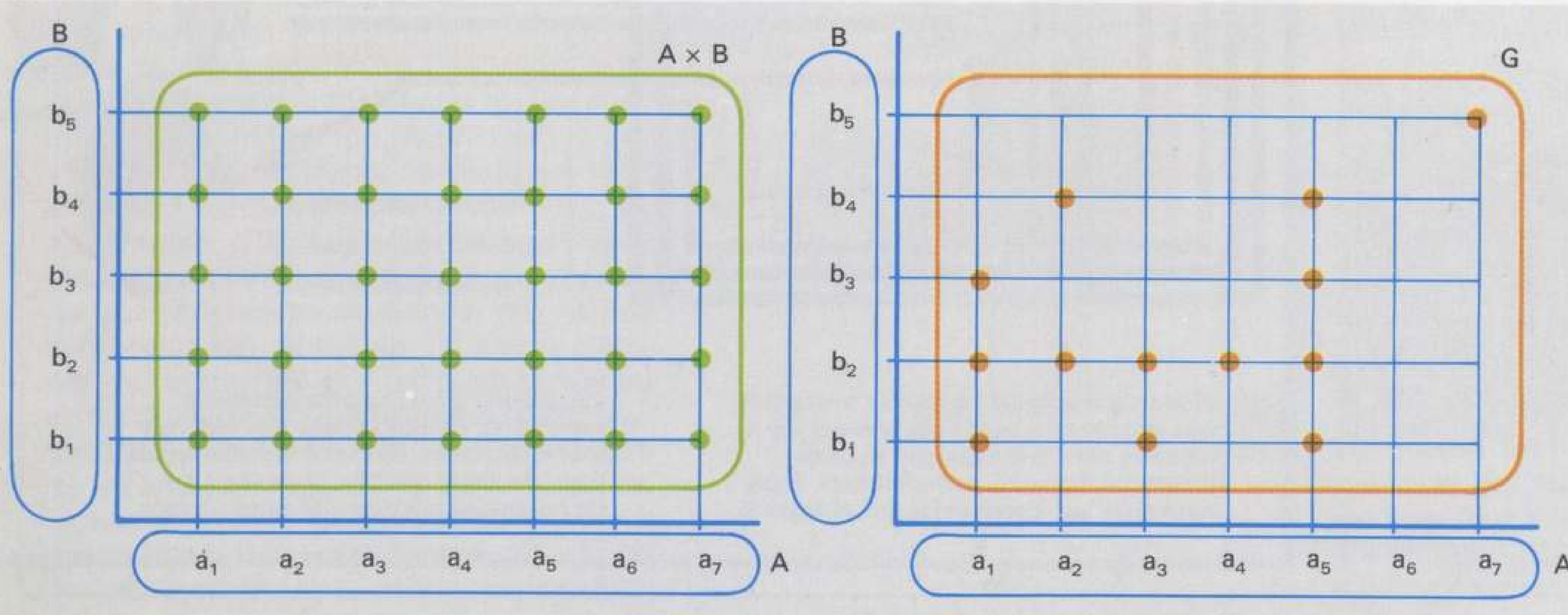
Si $\mathcal{R}$ está definida entre A y B se puede asociar a cada elemento x de A los elementos y de B tales que $x\mathcal{R}y$; al conjunto de los mismos (que puede ser vacío, tener uno, varios o, incluso, infinidad de elementos) se le denota $\mathcal{R}(x)$. Análogamente se escribe $\mathcal{R}(X)$, si $X \subset A$, para denotar a la unión de todas las posibles $\mathcal{R}(x)$ cuando x toma valores en X. Análogamente puede definirse $\mathcal{R}^{-1}(y)$, si y es un elemento de B, como conjunto de los x de A tales que $x\mathcal{R}y$. Igualmente se tendría $\mathcal{R}^{-1}(Y)$, para $Y \subset B$. Es fácil ver que estas notaciones son acordes con haber denotado $\mathcal{R}^{-1}$ a la relación inversa de $\mathcal{R}$.

A veces se esquematiza gráficamente la relación mediante lo que se denomina su *grafo*. Se trata de representar los elementos x de A e y de B respectivamente como puntos de los dos ejes cartesianos, y los pares (x, y) de $A \times B$, como los correspondientes puntos de coordenadas (x,y); entonces el *grafo* representativo de la relación viene dado por el conjunto de puntos para los que se cumple la relación. Obviamente se trata de una generalización del clásico concepto de curva o gráfica de una función de $\mathbb{R}$ en $\mathbb{R}$, propia del Análisis.

Normalmente se utiliza también el término *grafo* en sentido abstracto y general para designar el propio subconjunto G de $A \times B$ que define la relación

La técnica de identificar relaciones binarias entre A y B con subconjuntos del producto $A \times B$ admite una generalización al caso de relaciones n-arias usando el producto cartesiano de los n conjuntos correspondientes.

Propiedades de las relaciones binarias definidas en un conjunto Los casos más interesantes de relaciones binarias son aquéllos en los que los elementos relacionados lo son de un mismo conjunto; es decir, $A = B$. Entonces se pueden dar propiedades especiales que confieren un aspecto peculiar a la estructura formada por el conjunto y la relación definida en él y, por otra parte, las mismas resultan prácticas



Una relación en A y B queda definida al dar un subconjunto de A × B, su *grafo*. Es indiferente decir que "x está relacionado con y" o que "el par (x, y) pertenece al grafo".

desde el punto de vista de la modelización matemática de situaciones reales. Véanse algunos ejemplos.

Se dice que $\mathscr{R}$ definida en A es *reflexiva* si la cumplen todos los pares tales que ambos elementos son iguales; es decir:

$$\mathscr{R} \text{ reflexiva: } \forall x,\ x\mathscr{R}x$$

En otras palabras: el grafo de la relación debe contener a la diagonal principal del producto.

Se dice, análogamente, que una relación es *irreflexiva* si no se verifica para ningún par de la forma (x, x); es decir:

$$\mathscr{R} \text{ irreflexiva: } \forall x,\ x\mathscr{R}'x$$

Por el contrario, $\mathscr{R}$ es *no reflexiva* si para algún x no se tiene que $x\mathscr{R}x$; es decir:

$$\mathscr{R} \text{ no reflexiva: } \exists x,\ x\mathscr{R}'x$$

Se dice que una relación, $\mathscr{R}$, definida en A es *simétrica* (o *recíproca*) si siempre que se cumple $x\mathscr{R}y$ se cumple también $y\mathscr{R}x$; es decir:

$$\mathscr{R} \text{ simétrica: } x\mathscr{R}y \text{ implica } y\mathscr{R}x$$

La relación es *asimétrica* si para todo par (x, y) que la cumple es seguro que no la cumple el (y, x); es decir:

$$\mathscr{R} \text{ asimétrica: } x\mathscr{R}y \text{ implica que } y\mathscr{R}'x$$

Por el contrario, $\mathscr{R}$ es *no simétrica* si para algún par (x, y) que la cumple se tiene que no la cumple (y, x); es decir:

$$\mathscr{R} \text{ no simétrica: } \exists (x, y),\ x\mathscr{R}y \text{ e } y\mathscr{R}'x$$

El grafo de una relación simétrica es simétrico respecto a la diagonal principal del producto cartesiano; el de una asimétrica es, por el contrario, asimétrico, ya que si contiene el par (x, y) no puede contener al (y, x).

Se dice que una relación, $\mathscr{R}$, definida en A es *antisimétrica* o *propia* si siempre que se den simultáneamente $x\mathscr{R}y$ e $y\mathscr{R}x$ es porque $x = y$; es decir:

$$\mathscr{R} \text{ antisimétrica: } x\mathscr{R}y \text{ e } y\mathscr{R}x \text{ implican } x = y.$$

Conviene no confundir la propiedad antisimétrica con las ya definidas anteriormente como asimétrica y no simétrica, con las que no tiene nada que ver. Por ello conviene, si hay riesgo de confusión, utilizar la denominación de *recíproca* para la *simétrica* y propia para la *antisimétrica*.

Una relación $\mathscr{R}$ en un conjunto A se denomina *transitiva* si siempre que la cumplen pares de la forma (x, y) e (y, z) la cumple también el de la forma (x, z); es decir:

$$\mathscr{R} \text{ transitiva: } x\mathscr{R}y \text{ e } y\mathscr{R}z \text{ implican } x\mathscr{R}z$$

Una relación $\mathscr{R}$ es *intransitiva* si el hecho de que la cumplan los pares de la forma (x, y) e (y, z) supone que no la cumple el (x, z); es decir:

$$\mathscr{R} \text{ intransitiva: } x\mathscr{R}y \text{ e } y\mathscr{R}z \text{ implican } x\mathscr{R}'z$$

Por el contrario es *no transitiva* si existe alguna pareja de pares (x, y) e (y, z) que la cumplen y, sin embargo, no la cumple el (x, z).

Una propiedad análoga a la transitiva es la *circular*:

$$\mathscr{R} \text{ circular: } x\mathscr{R}y \text{ e } y\mathscr{R}z \text{ implican } z\mathscr{R}x$$

Se pueden citar múltiples ejemplos de relaciones con las propiedades que se acaban de definir. Entre las de naturaleza matemática o lógica elemental destaca la igualdad, que es, trivialmente, reflexiva, simétrica y transitiva. A su vez, el orden usual en $\mathbb{Z}$ o en $\mathbb{R}$ representado por $x\leqslant y$ (como en $3\leqslant 4$, $2\leqslant\pi$, etc.) es una relación reflexiva, antisimétrica y transitiva. Igualmente lo es la relación de inclusión entre las partes de un conjunto, $\mathscr{P}(E)$.

Las relaciones de *equivalencia* y las de *orden* tienen en general las propiedades señaladas, respectivamente, para los casos particulares de la igualdad y el orden usual numérico. Ambos son, a su vez, casos especiales de las relaciones llamadas de *preorden* o *cuasiorden*, que son *reflexivas* y *transitivas*.

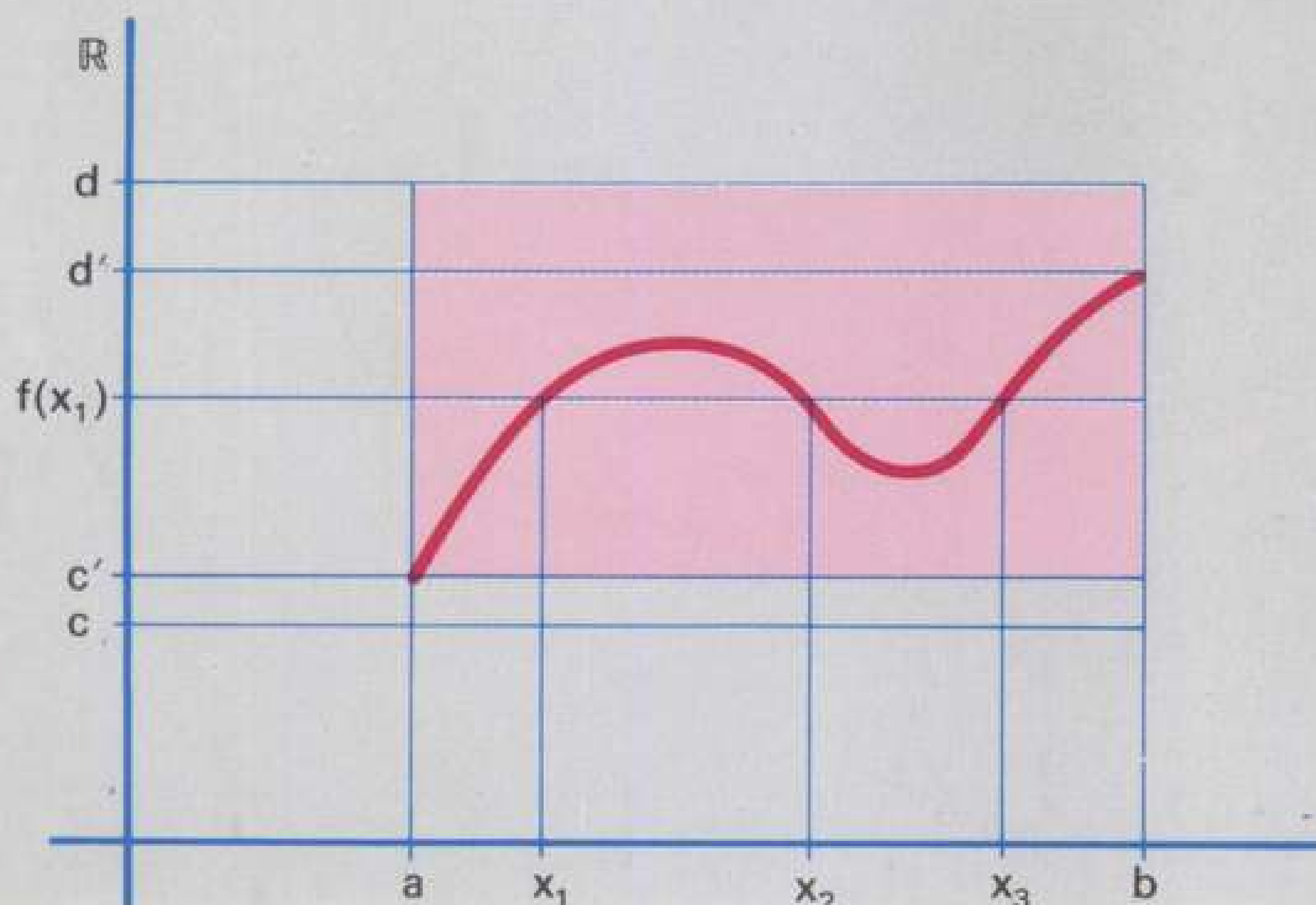
El concepto de correspondencia Se dice que existe una *correspondencia* (o una *función* en sentido amplio) entre el conjunto A y el B, ambos no vacíos, iguales o distintos, si hay una ley que asocia o atribuye a elementos de A, elementos de B.

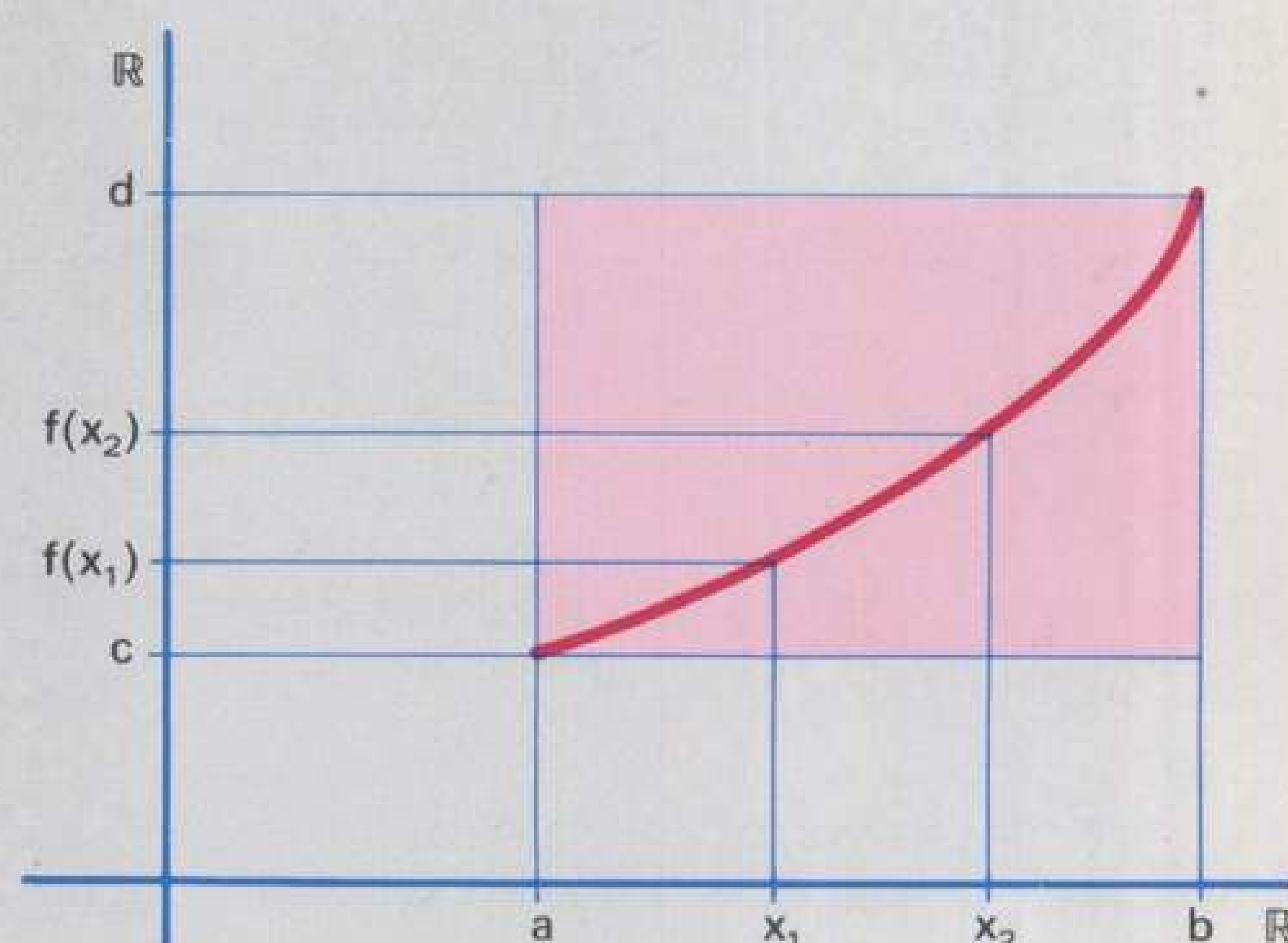
El conjunto A se llama *original* y el B *imagen*; la correspondencia suele denotarse por una letra, por ejemplo f, y el conjunto de todos los elementos de B asociados al x de A, denominados *homólogos* de x, se representa por $f(x)$, (que se lee "efe de x" o "imagen de x") y obviamente, cumple: $f(x)\subset B$. Cuando el homólogo de x es un único elemento y de B, la notación $f(x)$ se conviene en utilizar indistintamente y a pesar de la incorrección que supone (siempre que no induzca a error), tanto para el elemento y como para el conjunto $\{y\}$. Análogamente, se llama imagen de $X\subset A$, en B, y se denota $f(X)$, al conjunto unión de todos los $f(x)$ que son imágenes de los x de X. En particular $f(A)$ es la imagen de A (también llamada imagen de f). Análogamente, $f^{-1}(y)$ es el conjunto de los x de A que tienen a y por homólogo en B. Los mismos se denominan *antihomólogos* de y y el propio $f^{-1}(y)$ "original de y"; lo mismo puede definirse $f^{-1}(Y)$, con $Y\subset B$, o el caso de $f^{-1}(B)$, llamado *original de A* u *original de f*.

Se denomina *correspondencia* (o *función*) *inversa* de la f, denotándose f^{-1}, a la que hace corresponder a elementos de B sus antihomólogos en A según f. Se observa inmediatamente que se intercambian los papeles de *original* e *imagen* y las respectivas notaciones f y f^{-1}, antes utilizadas para las mismas en el caso de f, cuando se trata de las correspondientes de f^{-1}.

Es evidente que la definición anterior de correspondencia es muy general; tanto que, como se verá más adelante, puede identificarse con el de relación.

De esa generalidad resulta, por ejemplo, que quepan muchos tipos posibles de correspondencias. Por ejemplo, puede suceder que haya elementos de A sin homólogo en B y también que los haya en B que no sean homólogos de ninguno de A; cuando no sucede esto último y se tiene $f(A) = B$ se dice que f es *suprayectiva*. Cuando cada $f(x)$ tiene un solo elemento de B se dice que la correspondencia es una función *uniforme* (a veces simplemente una *función*) mientras que si $f(x)$ puede tener varios elementos se habla de correspondencia o de función *multiforme*.





El ejemplo más elemental y antiguo de grafo es la curva o gráfica de una *función* de ℝ en ℝ. En la figura se muestran dos ejemplos elementales de *funciones* de [a, b] en [c, d]. El de la izquierda corresponde a una aplicación que no es suprayectiva ni inyectiva; la de la derecha, a una biyección.

Correspondencias y relaciones La definición, un tanto intuitiva e imprecisa, de *correspondencia*, como "ley que asocia elementos de un conjunto A a los de otro B", puede convertirse en una que tenga los requisitos de formalidad y rigor propios de la matemática actual, recurriendo a los métodos conjuntistas. En efecto, la correspondencia f entre A y B puede definirse mediante un subconjunto G del producto cartesiano AxB, llamado a veces su *grafo*, sin más que considerar

$$y \in f(x) \quad \text{si } y \text{ sólo si} \quad (x, y) \in G$$

En otros términos: un par (x, y) está en el grafo de f si y sólo si el segundo elemento del mismo es homólogo del primero según f.

La anterior definición muestra, por otra parte, la identificación que existe entre *correspondencia* y *relación* entre sí y con los subconjuntos del producto AxB. En efecto: es irrelevante la diferencia, salvo matices terminológicos, entre: dar un subconjunto de AxB y dar la relación o la correspondencia que le tienen por grafo. Resulta, por tanto, indiferente hablar de la relación $\mathscr{R}$ o de la correspondencia f; ambas son la misma cosa si se escribe para cualquier x de A que:

$$f(x) = \mathscr{R}(x).$$

La anterior consideración permite extender a las *correspondencias* (o *funciones*) los conceptos y propiedades de las relaciones (por ejemplo: producto, inversa, restricción, etcétera).

El concepto de aplicación Uno de los conceptos más usuales de la Matemática actual es el de *aplicación*; aunque coincide con el concepto clásico de *función uniforme y definida para todos los elementos del conjunto original*, el término *aplicación* ha desplazado al de *función* de las ramas matemáticas más modernas (Conjuntos, Algebra lineal, Topología, Análisis funcional, etc.), aunque sea usual seguir utilizando éste, a veces con un cierto nivel de ambigüedad, en las teorías de funciones reales y complejas.

Pero ¿qué es una *aplicación*? Simplemente un caso particular de correspondencia; aquella que cumple la siguiente condición: *todo* elemento del conjunto original tiene *un* homólogo y *sólo uno* en el imagen. En otros términos: f es una aplicación de A en B si se tiene que $f^{-1}(B) = A$ y que, para todo x, $f(x)$ tiene sólo un elemento de B. Por ello se acostumbra, en el caso de una aplicación, a utilizar la letra, por ejemplo f, que la designa, tanto para ella misma como para denotar conjuntos imágenes, $f(A)$ o $f(X)$, si $X \subset A$, y, sobre todo, para significar el elemento único $y \in B$ que corresponde al $x \in A$ en la forma $y = f(x)$. Se suele escribir que:

$$A \xrightarrow{f} B \quad \text{o} \quad f\colon A \rightarrow B \quad \text{y} \quad f\colon x \rightarrow f(x) = y$$

que se leen: "f, aplicación de A en B" y "f es la aplicación que a todo x de A le atribuye un y de B único tal que $y = f(x)$".

El grafo de una aplicación de A en B, o subconjunto de AxB que la define, es tal que para todo x de A contiene un par y sólo uno, $(x, y) = (x, f(x))$, con x de primer elemento.

A veces se encuentra una definición diferente (aparentemente más general pero con algún inconveniente): es la que incluye la condición de que $f(x)$ sea único para cada x de A con homólogo en B, pero admite que pudiera no coincidir $f^{-1}(B)$ con la totalidad de A. También conviene señalar la terminología que, en ciertos contextos, suele usarse para las aplicaciones, denominándolas *correspondencias unívocas*, *funciones uniformes*, *transformaciones*, etc. Casi todas ellas pueden dar lugar a equívocos; por ello es preferible usar exclusivamente el término *aplicación* o, si no hay riesgo de confusión y se ha convenido claramente en ello, simplemente el de *función*. Por otra parte, el objetivo pretendido con la generalización, llena de inconvenientes, de definir una aplicación de A en B como la correspondencia en la que el homólogo de todo x de A es único, sin incluir la condición de que todo x lo tenga, puede conseguirse considerando a ésta como una correspondencia tal que la restricción de la misma a $f^{-1}(B)$ es una *aplicación* en el sentido definido inicialmente.

A pesar de la sencillez y especialización que supone el concepto de *aplicación* es posible encontrarle los casos particulares, suficientemente interesantes, que se citan a continuación.

Se dice que la aplicación f de A en B es *exhaustiva* o *suprayectiva* o, también, que se trata de una *suprayección*, si para todo elemento y de B existe algún x de A tal que $f(x)=y$; en otros términos: si se cumple $f(A)=B$. En tal caso se suele decir que f es una aplicación de A *sobre* B.

Una aplicación de A en B se llama *inyectiva* o se dice que es una *inyección* si a diferentes elementos de A les corresponden elementos distintos de B; más precisamente: si $f(x_1) = f(x_2)$ implica que $x_1 = x_2$. En tales casos sucede que la correspondencia entre elementos de A y B es biunívoca.

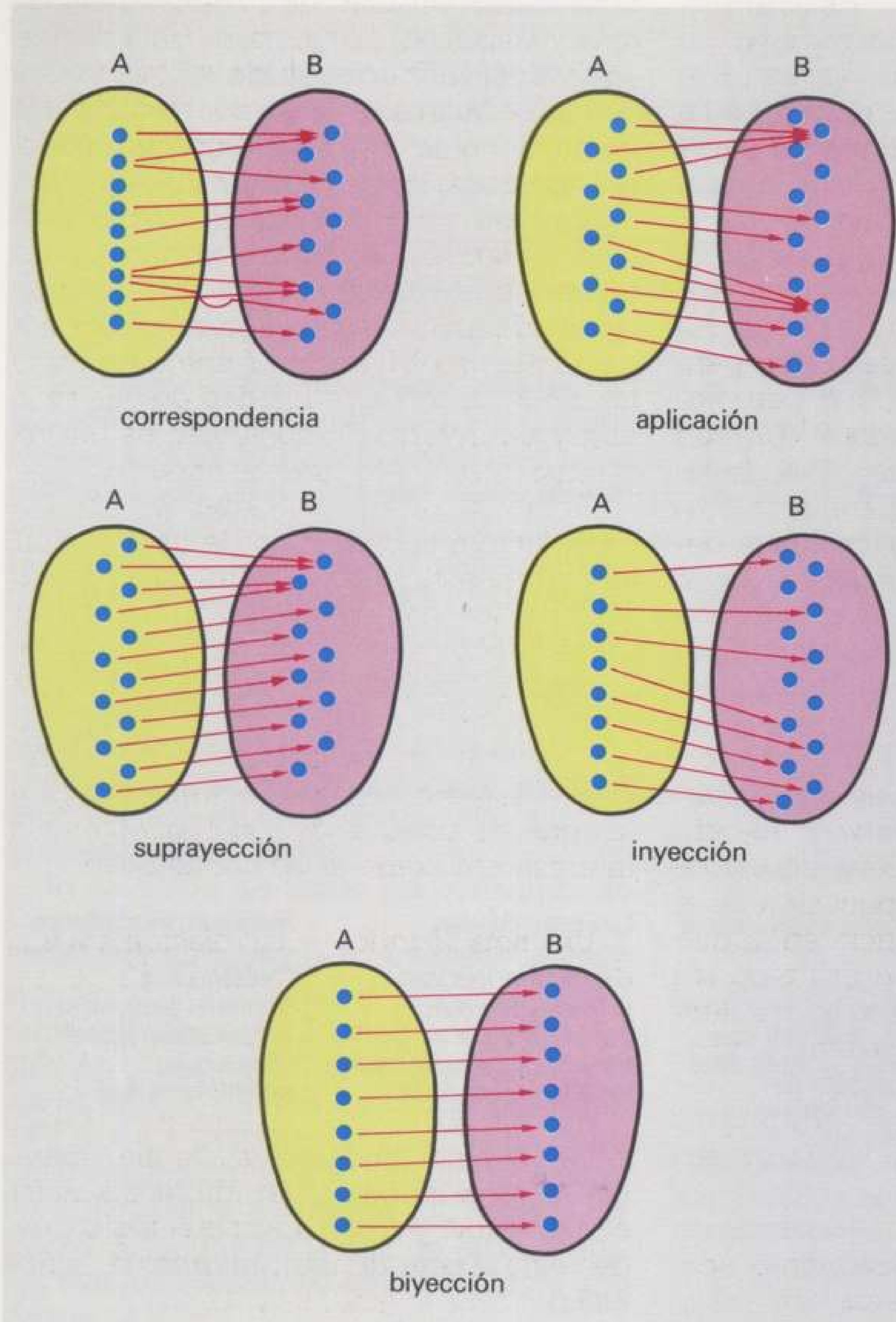
Cuando una aplicación f de A en B es, a la vez, suprayectiva e inyectiva la correspondencia debe ser biunívoca y cumplirse la condición adicional de que ni en A ni en B queden elementos sin homólogo en el otro conjunto; la igualdad o desigualdad en uno de los conjuntos implica la igualdad o desigualdad de homólogos o antihomólogos en el otro, porque todo elemento de A tiene homólogo y éste es único y, recíprocamente, todo elemento de B tiene antihomólogo único. Resulta entonces que f^{-1} es también una aplicación suprayectiva e inyectiva de B en A. Se dice, en tal caso, que f es *biyectiva* o que se trata de una *biyección* y que los conjuntos son *equipotentes* o *isomorfos* (en cuanto conjuntos). La *equipotencia* es una relación fundamental entre conjuntos que goza de las propiedades reflexiva, simétrica y transitiva; por tanto, se trata de una equivalencia. Precisamente en la equipotencia se fundamenta la concepción del número como cardinal. Por otra parte, cuando entre dos estructuras algebraicas existe una biyección, en la que se correspondan también los resultados de las operaciones en una y otra, se está en presencia del *isomorfismo algebraico*. Análogamente, una biyección f entre espacios topológicos con la propiedad de que sean ella y su inversa f^{-1} continuas es un *homeomorfismo* entre ambos espacios.

Como acaba de apuntarse, si se considera, junto a la definición de una función, una cierta estructura algebraica o topológica en los conjuntos correspondientes, pueden plantearse las más profundas y sofisticadas cuestiones del Análisis. En realidad éste se dedica, fundamentalmente, al estudio de las funciones entre conjuntos dotados con esas estructuras y en las que se pueden definir conceptos tan interesantes como el de continuidad.

Una nota histórica La *relación* era una de las *categorías* aristotélicas. El pensamiento clásico y el escolasticismo siguieron a Aristóteles. La filosofía moderna ha estudiado muy profundamente la cuestión y así la relación aparece también entre las categorías kantianas. El tratamiento actual, que recoge buena parte de la tradición, es, sin embargo, el propio de la lógica matemática y la teoría de conjuntos desarrolladas en los siglos XIX y XX.

En cuanto al concepto de dependencia funcional es necesario reconocer su conocimiento en el pensamiento antiguo (Aristóteles) y medieval. Sin embargo, por razones sociales y culturales, seguramente complejas y profundas, tarda en adquirir la claridad precisa para utilizarla en la filosofía natural (por ejemplo, para "explicar" el movimiento) hasta fines de la Edad Media —Oresme, Bradwardine, etc.— y que no se consolida hasta que Galileo trata matemáticamente el movimiento o, ya más firmemente, Descartes identifica *curvas* con *ecuaciones*. La creación y desarrollo del Análisis con Newton, Leibniz, los Bernoulli, Euler, etc. supone ya un uso próximo al actual del concepto de función, como variable que cambia dependiendo de otra independiente a través de una fórmula matemática. Más tarde, la aparición de dificultades (por ejemplo, en torno a las funciones con discontinuidades, los desarrollos en serie de Fourier o las soluciones de algunas ecuaciones diferenciales sobre la concepción clásica y la necesidad de dar rigor al Análisis llevaron a concebir el concepto de *función* de un modo más abstracto y general. Por fin, en las últimas décadas y en el marco de los métodos conjuntistas, adquirió su formulación actual.

Véase **Análisis matemático; Conjuntos, teoría de; Continuidad; Lógica matemática; Relación de equivalencia; Relación de orden**





El esquema muestra gráfica e intuitivamente las diferencias entre los conceptos de correspondencia en general y aplicación, así como los casos particulares de ésta. El organigrama de una empresa es una de las posibles aplicaciones de las ideas sobre relaciones. Así, es fácil establecer, entre las distintas posiciones, relaciones, por ejemplo, de orden o cuasiorden (que traducen las de tipo jerárquico). Igualmente, la familia ("ser marido y mujer", "ser hermanos", etc.), el ejército, la dotación de un barco, un ministerio, un partido político u otras organizaciones sociales pueden ser buenos ejemplos para definir relaciones en ellas.



Relación de equivalencia

La filosofía, la ciencia y las actividades de la propia vida práctica serían impensables si no se supiera reconocer las cosas que son iguales y distinguir las que no lo son. Al respecto todo el mundo piensa, incluso, que los de *igualdad* y *desigualdad* son conceptos claros y sin problemas. Sin embargo, filósofos, lógicos y matemáticos les han dado, a lo largo de la historia, múltiples *vueltas*. En efecto: ni siquiera la *identidad* de una cosa consigo misma o *mismidad* se ha librado del análisis meticuloso de muchos filósofos.

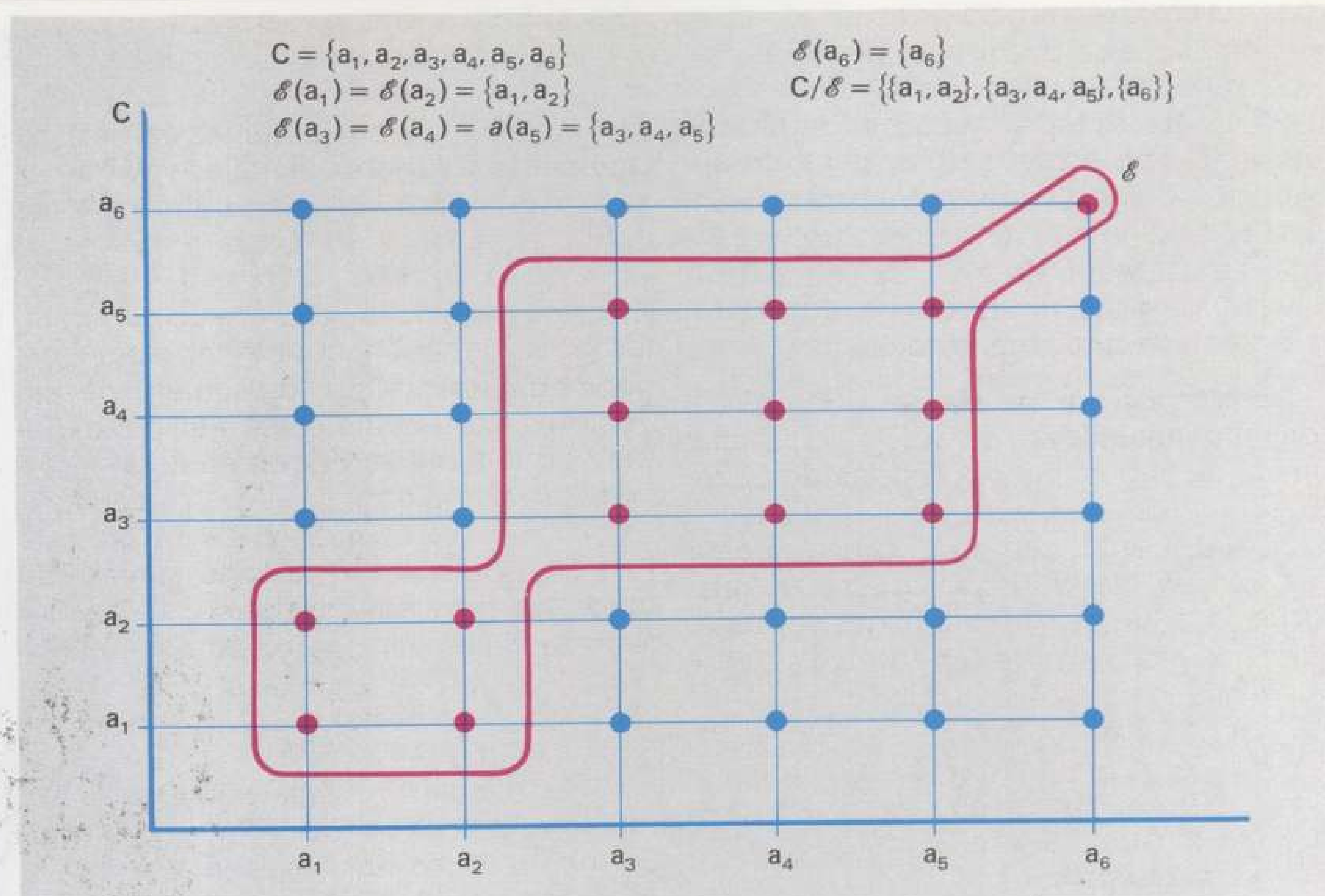
Cuando se dice que "dos campos son *iguales* (en superficie)", "dos niños *iguales* (en edad)", "dos productos *iguales* (en precio)", o que "2 + 2 es *igual* a 3 + 1" se está, en realidad considerando como *igualdad* una relación entre objetos en base a que los mismos son *equivalentes* o *intercambiables* según algún criterio. Pretender definir, por ello, sin caer en una petición de principio o en un círculo vicioso, un concepto primitivo como el de *igualdad*, en uno u otro sentido, o el aparentemente más general de *equivalencia*, es tarea vana. Por ello conviene recurrir a otros procedimientos.

La Lógica y la Matemática, de antiguo, han atribuido a la igualdad tres propiedades fundamentales: la primera es la de que todo objeto es igual a sí mismo; la segunda, la que asegura que si una cosa es igual a otra, ésta es igual a la primera; y la tercera, la que afirma que cuando una cosa es igual a una segunda y ésta a una tercera, deben ser también iguales la primera y la tercera. Estas propiedades, denominadas respectivamente leyes *reflexiva*, *simétrica* y *transitiva* de la igualdad, son conocidas hace tiempo por los lógicos, caracterizan suficientemente la *equivalencia* entre objetos de todo tipo, según cualquier criterio, y pueden servir, precisamente, para dar una definición axiomática que soslaye la tarea imposible de decir lo que la igualdad o, en general, la equivalencia *son*. Tal técnica, acorde con el método axiomático que informa la Matemática actual, es la usada en lo que sigue.

Definición de equivalencia Si se tiene un conjunto no vacío, C, se dice que una relación definida en el mismo, $\mathscr{E}$, es una *equivalencia* (o simplemente una *igualdad*) si ésta es *reflexiva*, *simétrica* (o *recíproca*) y *transitiva*. Es decir, si se cumplen las tres propiedades siguientes:

$E1$. $\forall x$, $x\mathscr{E}x$ (reflexiva)
$E2$. $x\mathscr{E}y$ implica $y\mathscr{E}x$ (simétrica)
$E3$. $x\mathscr{E}y$ e $y\mathscr{E}z$ implican $x\mathscr{E}z$ (transitiva).

La notación "$x\mathscr{E}y$" se lee "x es equivalente, según $\mathscr{E}$, a y" o, mejor, "x es equivalente a y, módulo $\mathscr{E}$"; su significación es la de que el par ordenado (x, y) cumple la relación definida por $\mathscr{E}$; es decir, que (x, y) es elemento del subconjunto de CxC, o *grafo*, que define la relación $\mathscr{E}$. La notación $\mathscr{E}(x)$ designa al subconjunto de los elementos de C equivalentes a x; se trata, obviamente, de un conjunto no vacío ya que, al menos, contiene a x.



Sea un conjunto

$A = \{a_1, a_2, a_3, a_4, a_5, a_6\}$

La figura muestra el producto cartesiano $A \times A$ y el *grafo* de una cierta equivalencia $\mathscr{E}$ definida por ser equivalentes entre sí a_1 y a_2 por una parte y a_3, a_4 y a_5 por otra (además de cada uno a sí mismo). Las propiedades reflexiva, simétrica y transitiva inducen la forma peculiar del *grafo* de la equivalencia (en él están los elementos de la diagonal, es simétrico y sus elementos forman "rectángulos"). También se aprecia la formación de las clases que constituyen $A/\mathscr{E}$.

A veces se dice que una equivalencia es la relación definida en un conjunto que tiene las propiedades de ser *reflexiva* y *circular*, o sea, con las propiedades:

$E1$. $\forall x$, $x\mathscr{E}x$ (reflexiva)
$E4$. $x\mathscr{E}y$ e $y\mathscr{E}z$ implican $z\mathscr{E}x$ (circular).

Se prueba fácilmente que el sistema de axiomas ($E1$, $E4$) es equivalente al ($E1$, $E2$, $E3$).

Por otra parte, a la relación definida en un conjunto y que es reflexiva y transitiva se le llama relación de *preorden* o *cuasiorden*. Por ello se dice, a veces, que una equivalencia es una relación de preorden que es simétrica (se distingue, por tanto, de una relación de orden en que ésta, por ser reflexiva, antisimétrica y transitiva, es una relación de preorden antisimétrica).

Al definir axiomáticamente la equivalencia, todas las propiedades de ésta deben deducirse de los axiomas. A su vez, ante cada caso concreto se hace preciso, para estar seguro de que se trata de una equivalencia, comprobar que cumple los tres axiomas o propiedades de la definición. Eso es lo que debe hacerse para los siguientes ejemplos:

1º. La *igualdad*, en sentido *estricto*, o *identidad*, es decir, la relación definida en cualquier C por: $x = x$, es el caso más sencillo de equivalencia. En efecto, sólo la cumplen las parejas de la forma (x, x) del producto de CxC o, lo que es lo mismo, los elementos de la diagonal son los únicos de su *grafo*.

2º. En el extremo opuesto también puede considerarse la llamada relación *universal*, que se verifica por cualquier par (x, y) del producto CxC, como una equivalencia.

3º. Un caso fundamental de equivalencia lo proporciona la equipotencia entre conjuntos (A y B son equipotentes si puede establecerse una biyección entre ellos).

4º. En la propia matemática elemental se dan múltiples casos de equivalencias. Por ejemplo, la *equipolencia* entre vectores (dos vectores se llaman equipolentes cuando tienen el mismo módulo o norma, la misma dirección y el mismo sentido). Otro ejemplo análogo es el siguiente: un par de segmentos se consideran equivalentes si por un movimiento en el espacio puede llevarse uno a coincidir con el otro. El mismo resultado se obtendría considerando que dos segmentos son equivalentes cuando son de la misma longitud. Análogamente, dos polígonos son equivalentes si tienen la misma área, y dos poliedros, si tienen el mismo volumen.

5º. Es fácil asociar a cualquier aplicación, f, de C en D, una equivalencia en C (denominada equivalencia "de *aplicación*" o "de *homomorfismo*") sin más que poner:

$$x\mathscr{E}y \text{ si y sólo si } f(x) = f(y)$$

(con tal definición, $\mathscr{E}$ es una equivalencia porque cumple las tres propiedades características, reflexiva, simétrica y transitiva, como se prueba fácilmente). Los casos de equivalencia citados anteriormente —los referentes a segmentos, polígonos y poliedros— pueden considerarse como particularizaciones de ésta. En efecto: a cada segmento se le hace corresponder su longitud y luego se dice que dos segmentos son equivalentes si son iguales sus longitudes. Análogamente se razonaría en los otros dos casos.

Resulta interesante señalar cómo en

cada disciplina, en particular las de tipo matemático, existe una relación de equivalencia o igualdad específica de la misma. Así, para los topólogos, dos figuras son *iguales* si son *homeomorfas*, para los algebristas, dos *estructuras* algebraicas son *iguales* cuando son *isomorfas*; los conjuntistas consideran *iguales* dos conjuntos *equipotentes*; los agrimensores, dos terrenos con la misma área, etcétera.

Descomposición en clases Sea C un conjunto cualquiera no vacío y sea S una familia de subconjuntos o partes de C; se dice que S es un *sistema de clases* o, también que S establece en C una *descomposición en clases* (abreviadamente una *partición* o una *clasificación*) si se tiene que cada elemento de C pertenece a uno y sólo a uno de los subconjuntos de S.

Se ve inmediatamente que si S es un sistema de clases de C se tiene que:

a) Cualquier par de conjuntos distintos de S son disjuntos (es decir, no tienen ningún elemento común).

b) La unión de todos los conjuntos de S es el propio C.

Resulta sumamente interesante y útil en muchas circunstancias el importante teorema que sigue: "Si S establece una partición en C puede definirse una equivalencia en éste, $\mathscr{E}$, sin más que considerar que $x\mathscr{E}y$ si x e y pertenecen a la misma clase. Recíprocamente, si $\mathscr{E}$ es una equivalencia en C la misma establece un sistema de clases, S, tal que cada una de ellas se forma con los elementos equivalentes a uno de los de C".

La demostración del anterior teorema es muy simple. El directo es inmediato: $x\mathscr{E}x$ se cumple porque siempre x pertenece a la misma clase que x; si $x\mathscr{E}y$ es que x e y son de la misma clase y, consecuentemente, también $y\mathscr{E}x$; por último, si $x\mathscr{E}y$ e $y\mathscr{E}z$ resulta que x, y, z pertenecen a la misma clase y, por tanto $x\mathscr{E}z$. El recíproco es también de fácil prueba: si se llama $\mathscr{E}(x)$ al conjunto de elementos equivalentes a x, se tiene que la unión de todas ellas debe ser C (ya que en $\mathscr{E}(x)$ entra por lo menos x) y que entre $\mathscr{E}(x)$ y $\mathscr{E}(y)$ sólo caben dos posibilidades, las de ser iguales, si se verifica que $x\mathscr{E}y$, o ser disjuntas si no se verifica, ya que la propiedad transitiva obliga a que en cuanto $\mathscr{E}(x)$ y $\mathscr{E}(y)$ tengan algún elemento común deben serlo todos.

Conjunto cociente Si $\mathscr{E}$ es una equivalencia, se ha visto que induce una descomposición en clases. Al correspondiente sistema, S, se le denomina sistema de clases módulo $\mathscr{E}$ o, más corrientemente, conjunto cociente de C por $\mathscr{E}$, que se denota como $C/\mathscr{E}$. El paso de C a $C/\mathscr{E}$ es muy frecuente en matemáticas. A continuación se presentan dos ejemplos muy sencillos.

Si E es el espacio de los vectores fijos de la geometría elemental (es decir: el de los segmentos orientados con un origen y un extremo fijos) la equipolencia o igualdad de módulos, direcciones y sentidos es una equivalencia. ¿Cuáles son las clases correspondientes? $\mathscr{E}(x)$ es simplemente el conjunto de todos los vectores equipolentes a x. ¿Qué conjunto es el $E/\mathscr{E}$?, pues cada elemento de $E/\mathscr{E}$ es una clase de E, de vectores fijos equipolentes entre sí. En Geometría y Algebra lineal ese $E/\mathscr{E}$ no es otra cosa que el espacio de los vectores libres, isomorfo a $\mathbb{R}^3$. Cada vector libre —dado por su módulo, dirección y sentido o, si se quiere, por sus tres componentes $(x_1, x_2, x_3) \in \mathbb{R}^3$— puede representarse geométricamente por cualquiera de los vectores fijos equipolentes a él, por ejemplo el que tiene su origen en el de coordenadas. Suele decirse, en este caso, que es fácilmente generalizable, que un vector libre o, lo que es lo mismo, la clase de todos los fijos equipolentes a él, puede representarse por uno cualquiera, el llamado *representante de la clase*; es decir $x \in E$ representa a toda la $\mathscr{E}(x)$, elemento correspondiente de $E/\mathscr{E}$.

Otro ejemplo elemental se da en el ámbito de la teoría clásica de la divisibilidad. Se dice que los enteros "x e y son *congruentes*, módulo m" (m entero) si el resto de dividir ambos por m es igual; o, lo que es lo mismo, si $x - y$ es múltiplo de m. Tal relación se escribe: $x \equiv y\ (m)$. Se tiene que:

$$x \equiv y\ (m) \quad \text{si y sólo si} \quad x - y = \dot{m}$$

Es fácil ver que la congruencia módulo m es una equivalencia en $\mathbb{Z}$. Muchas de las ideas, notaciones y teoremas sobre equivalencias en general tienen su origen histórico en la teoría sobre esta concreta. Pues bien, ¿cuál es el conjunto cociente de $\mathbb{Z}$ por la congruencia módulo m, que se denota $\mathbb{Z}/(m)$? Se trata de las *clases módulo m*, es decir:

$$\mathbb{Z}/(m) = \{\overline{0}, \overline{1}, \overline{2}, ..., \overline{m-1}\}$$

donde $\overline{k}$ es el conjunto de los números enteros cuyo resto de dividirlo por m es, precisamente, k; o sea:

$$\overline{k} = \{\pm m + k, \pm 2m + k, ...\}$$

Si se utiliza, como es usual (aunque abusivo), el término *congruencia* también para la propia expresión particular $x \equiv y$ (m), puede fácilmente probarse que son ciertas proposiciones como las siguientes:

- La suma (y la diferencia) de dos *congruencias* (módulo m) es otra congruencia (módulo m).
- El producto de una *congruencia* (módulo m) por un número es otra congruencia (módulo m).

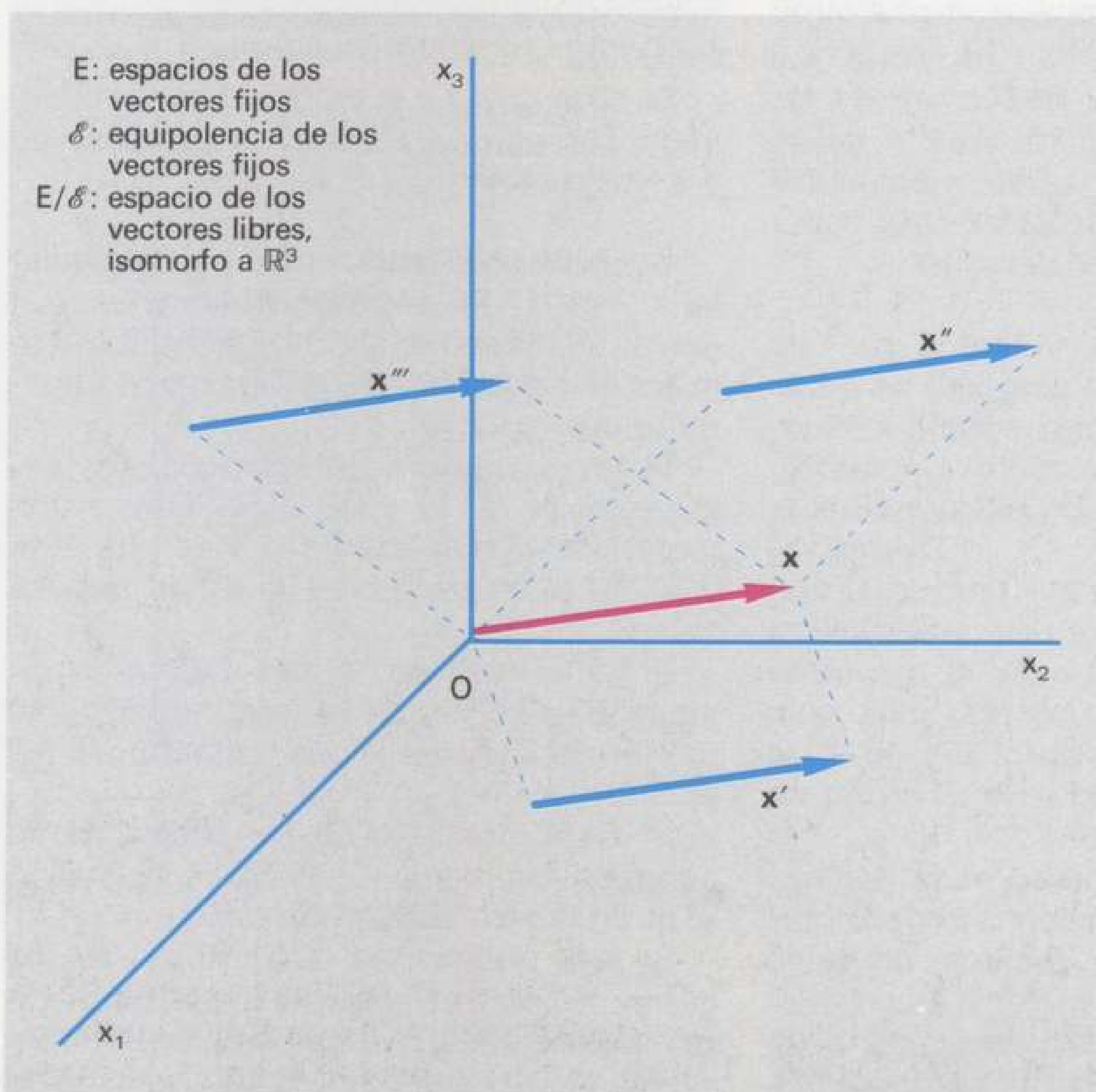
Hoy, esos resultados y otros análogos pueden resumirse, en un lenguaje *moderno*, diciendo que: "el conjunto $\mathbb{Z}/(m)$ es un anillo conmutativo con elemento unidad para la suma y el producto, módulo m". La suma y el producto módulo m entre *clases* es la que se realiza efectuando, respectivamente, la suma o el producto ordinarios con los representantes de las clases y luego *descontando* múltiplos de m. Por ejemplo, para $\mathbb{Z}/(3)$ se tienen los resultados:

$$\overline{1} + \overline{1} = \overline{2} \quad \overline{1} + \overline{2} = \overline{0} \quad \overline{2} + \overline{2} = \overline{1} \quad \overline{2} \times \overline{2} = \overline{1}$$

(aparte los que se deducen de aplicar la propiedad conmutativa y los obvios relativos a la suma de $\overline{0}$ y al producto por $\overline{1}$ y $\overline{0}$).

Cuando, como sucede en el caso que se acaba de citar, m es un número primo, $\mathbb{Z}/(m)$ es un cuerpo.

La teoría de congruencias puede ampliarse en varias direcciones; por ejemplo, considerando la división entre polinomios en lugar de división entre números enteros. De hecho, como ya se ha subrayado antes, la propia teoría de equivalencias, en muchos aspectos, es también una generalización de ella.



Una equivalencia muy sencilla y elemental, pero útil en Mecánica, Geometría, etc., es la *equipolencia de vectores*. Dos *vectores ligados* son *equipolentes* cuando tienen iguales los módulos, las direcciones y los sentidos. En la figura se muestra la equipolencia de **x**, **x′**, **x″** y **x‴**. Precisamente un *vector libre* es el representante de una clase de vectores equipolentes entre sí. Por ejemplo, en la figura, el vector **x**, con origen en el de coordenadas, puede representar a la clase de los equipolentes con él (entre los que están **x′**, **x″**, etcétera).

Véase **Conjuntos, teoría de; Ecuaciones e identidades; Grupos, anillos y cuerpos; Relación, correspondencia y aplicación; Relación de orden; Teoría de números**

Relación de orden

Bajo el término *orden* se amparan múltiples conceptos. En el lenguaje ordinario y en el de múltiples actividades y disciplinas se usa con las más variadas acepciones: las de jerarquía, estructura, paz, armonía, mandato, etc. Por el contrario, para lógicos y matemáticos, desde antiguo, el *orden* viene a ejemplificarse en las posiciones que ocupan los números en la sucesión de los naturales: $1, 2, 3, ..., n, ...$ Como se comprende fácilmente, esta relación, que se escribe "$x \leqslant y$", si y es posterior o coincidente con x en dicha sucesión (por ejemplo $3 \leqslant 3$ ó $5 \leqslant 7$) no puede definirse, por tratarse de un concepto primitivo, reduciéndola a otros más simples. Es, sin embargo, fácil deducir algunas de las propiedades básicas que tiene: la de ser *reflexiva*, ya que siempre $x \leqslant x$, para todo x; la de ser *propia* o *antisimétrica*, es decir, que $x \leqslant y$ e $y \leqslant x$ sólo se pueden dar simultáneamente si es $x = y$; la de ser *transitiva*, es decir, que $x \leqslant y$ e $y \leqslant z$ implican que $x \leqslant z$. Existen en el *orden* de los números más propiedades, pero esas tres son las que la matemática actual ha elegido para definir axiomáticamente el concepto de *relación de orden*, de modo que todas las demás o se deduzcan, de un modo formal y general, de ellas o, en su caso, se introduzcan como adicionales para definir tipos particulares más especializados de relaciones de orden.

Relaciones de orden Se dice que una relación, definida en un conjunto no vacío C, denotada $x \leqslant y$, es una *relación de orden*, si es *reflexiva*, *antisimétrica* y *transitiva*; es decir, si cumple las propiedades:

O1. $\forall x, x \leqslant x$ (reflexiva)
O2. $x \leqslant y$ e $y \leqslant x$ implican $x = y$ (antisimétrica)
O3. $x \leqslant y$ e $y \leqslant z$ implican $x \leqslant z$ (transitiva)

La notación "$x \leqslant y$" se lee "x es menor o igual que y", aún cuando x e y no sean números y la relación de orden en C no tenga ningún "parecido" con el orden en los conjuntos numéricos.

A una relación de orden se la llama, a veces, simplemente *orden* u *ordenación*. El par formado por un conjunto no vacío y una relación de orden, $(C, \leqslant)$, se denomina *conjunto ordenado* o *estructura ordenada*. Una de las estructuras básicas objeto de estudio de la matemática actual es, precisamente, la de orden (las otras son las algebraicas y las topológicas).

Cuando dos conjuntos ordenados A y B (cada uno con su ordenación respectiva) son tales que existe una biyección f de A sobre B y ésta es tal que respeta el orden —es decir que se cumple que: $x \leqslant y$ implica que $f(x) \leqslant f(y)$— se dice que son *semejantes*. La semejanza de conjuntos ordenados es, a todos los efectos, el isomorfismo propio entre estructuras de orden; en otros términos, para la teoría de conjuntos ordenados, dos conjuntos semejantes son una misma cosa, salvo cuestiones de notación, terminología, etcétera.

A veces, se llama relación de *preorden* o *cuasiorden* a la definida en un conjunto con las propiedades de ser reflexiva y transitiva. Por ejemplo, es de preorden para los puntos de la superficie terrestre la relación definida como "x está al mismo o menor nivel que el y". Se ve fácilmente que un *orden* es un *preorden* antisimétrico (análogamente, una *equivalencia* es un *preorden* simétrico).

A partir de una relación de orden es fácil obtener otras dos que están emparentadas con la misma. La primera es la inversa; es decir, si el par (x,y) está relacionado por la dada, el (y,x) lo está por la inversa. Normalmente se utiliza la notación $y \geqslant x$, que se lee "y es mayor o igual que x". Es fácil probar que la relación inversa de una de orden lo es también.

La otra relación que puede deducirse de una de orden dada es la llamada de *orden estricto*, que se define en la forma siguiente

$$(x < y) \text{ si y sólo si } (x \leqslant y \text{ y } x \neq y)$$

Aunque gramaticalmente no quede muy elegante, es cierta la siguiente afirmación: "una *relación de orden estricto* no es una relación de orden (ya que no es reflexiva ni antisimétrica)". La *relación de orden estricto* es irreflexiva, asimétrica y transitiva.

Se dice que x e y, en un conjunto ordenado, son *comparables* si se cumple que $x \leqslant y$ o que $y \leqslant x$.

Conjuntos ordenados total y parcialmente Antes de seguir adelante resulta oportuno presentar algunos ejemplos sencillos de relaciones de orden, como las siguientes:

1º En cualquiera de los conjuntos numéricos, $\mathbb{N}$, $\mathbb{Z}$, $\mathbb{Q}$ y $\mathbb{R}$, la relación usualmente denotada como $x \leqslant y$ es una relación de orden (también lo es su inversa, $y \geqslant x$).

2º En el conjunto $\mathbb{Z}$ la relación de divisibilidad $x \mid y$ (que se lee "x divide a y" o "y es múltiplo de x") es también una relación de orden.

3º En el conjunto de las partes de un conjunto no vacío E, $\mathscr{P}(E)$, la inclusión $A \subset B$ es una relación de orden.

Es fácil comprobar que se trata, en los casos de los tres ejemplos anteriores, de relaciones reflexivas, antisimétricas y transitivas y, por tanto, de *orden*. Los mismos proporcionan, por otra parte, la oportunidad de mostrar la gran diferencia que puede existir entre dos tipos de ordenaciones: las *parciales* y las *totales*. Se dice que una relación de orden es *total* cuando dados dos elementos cualesquiera son comparables. Una relación de orden es *parcial* si dado un par de elementos estos pueden no ser comparables. Por ejemplo: el orden usual en $\mathbb{N}$, $\mathbb{Z}$, $\mathbb{Q}$ y $\mathbb{R}$ es total; la divisibilidad en $\mathbb{Z}$ o la inclusión en $\mathscr{P}(E)$ son órdenes parciales. En efecto: dados dos números (enteros, racionales, etc.) puede asegurarse que uno de los dos es menor o igual que el otro (en la relación de orden usual). Por el contrario, dos números enteros, como 6 y 15, pueden ser tales que ninguno sea divisible por el otro; análogamente, dados dos subconjuntos de E puede suceder que ninguno esté contenido en el otro (por ejemplo: si $E = \{a, b, c\}$, $A = \{a, b\}$ y $B = \{b, c\}$, obviamente A no contiene ni es contenida en B).

Elementos y partes notables en un conjunto ordenado Entre los elementos y las partes de un conjunto se dan muchas peculiaridades, algunas de las cuales conviene citar por su interés.

Si C es ordenado y A una de sus partes no vacías, se llama *cota superior* de A a un elemento de C tal que cualquiera de los de A es menor o igual que él. Análogamente se define *cota inferior*. Si en A existe un elemento tal que no hay en A ningún otro menor que él se le llama *minimal* de A. En particular, se llama *mínimo* o *primer elemento* de una parte A de un conjunto ordenado C a aquel elemento de A que es menor o igual que todos los demás elementos de A. La diferencia está en que para que un elemento de A sea *minimal* los demás elementos de A tienen que ser mayores que él o no comparables, y para que sea *mínimo* todos deben ser comparables y mayores. Obviamente, el mínimo de A, caso de existir, es minimal (la recíproca no es cierta). Además, el mínimo, caso de existir, es único, y los minimales pueden no serlo. Se definen *maximal* y *máximo* o *último elemento* análogamente a minimal y mínimo.

Se llama *extremo inferior* al máximo de las cotas inferiores; análogamente se define *extremo superior*. Si existen ambos, extremo inferior de A y mínimo de A coinciden. Lo mismo sucede para el extremo superior y máximo.

Se llama *precedente* de un elemento al máximo, si existe, del conjunto de los menores que él. Análogamente se define *siguiente*.

La existencia o no de esos elementos particulares y las propiedades derivadas de ello distinguen diferentes tipos de conjuntos ordenados. Por su interés conviene citar entre los conjuntos parcialmente ordenados a los retículos y entre los que tienen una ordenación total a los llamados conjuntos bien ordenados.

Retículos Un conjunto ordenado R tal que dado un par de elementos cualesquiera, x e y, existen el extremo superior y el extremo inferior de ambos se denomina *retículo*. Usualmente se utilizan las notaciones: $\sup(x,y)$, $x \cup y$, $x \vee y$, etc. para el extremo superior; e $\inf(x,y)$, $x \wedge y$, $x \cap y$ para el extremo inferior.

Algunos ejemplos inmediatos son los siguientes:

1º En el conjunto de las partes de un conjunto no vacío E, $\mathscr{P}(E)$, ordenado por la inclusión, dados dos cualesquiera de sus miembros, $A \subset E$ y $B \subset E$, existen los extremos superior e inferior, que coinciden con la unión e intersección, $A \cup B$ y $A \cap B$, respectivamente (de ahí la razón de la notación antes citada).

2º En el conjunto de los enteros, $\mathbb{Z}$, ordenado por la divisibilidad, dados dos números cualesquiera existen los extremos

superior e inferior respecto a la citada relación, que son, respectivamente, el mínimo común múltiplo y el máximo común divisor, m.c.m (x,y) y m.c.d (x,y).

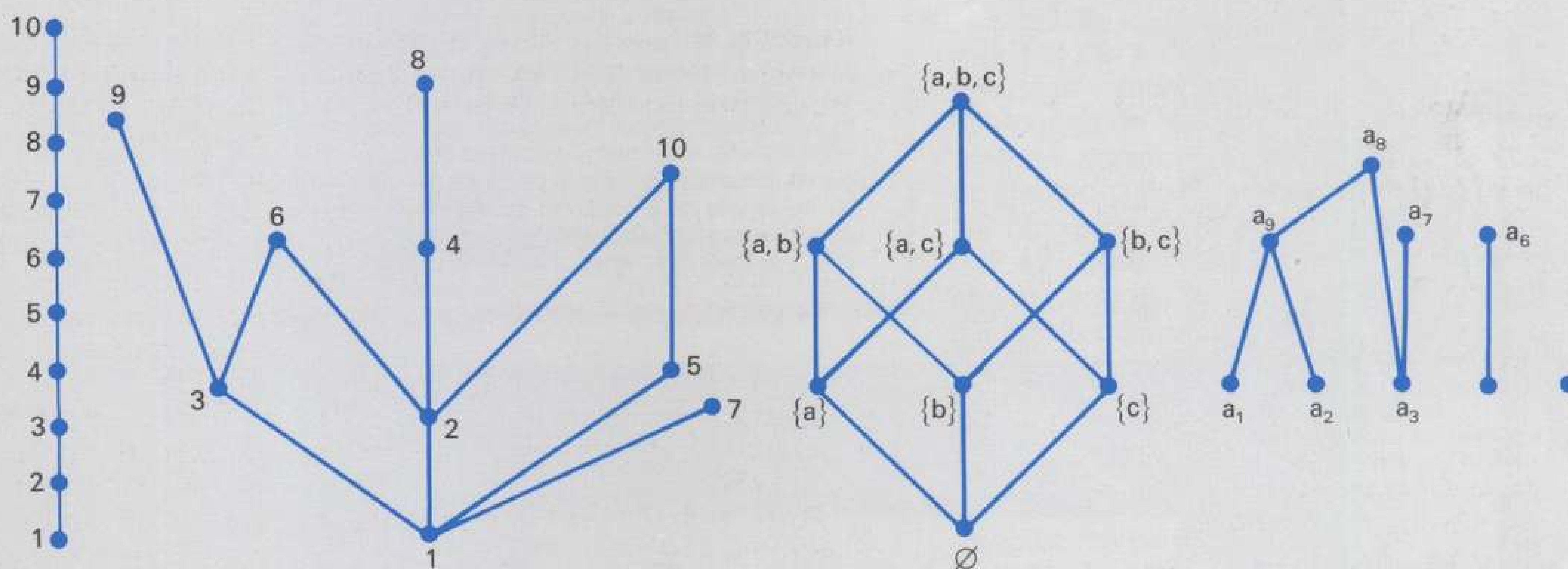
Los retículos son, por definición, estructuras ordenadas. Sin embargo, pueden considerarse también como estructuras algebraicas. En efecto: se dice que un retículo es la estructura algebraica definida por un conjunto con dos operaciones algebraicas tales que son conmutativas, asociativas, idempotentes y cumpliendo una respecto a otra la propiedad de absorción. La identidad de ambas definiciones se comprueba inmediatamente observando que extremos superior e inferior pueden considerarse como resultados de dos operaciones que tienen las propiedades postuladas para la unión e intersección y asociarlos a las mismas. Recíprocamente, puede también verse cómo en los retículos definidos algebraicamente queda establecida una estructura de orden sin más que usar cualquiera de las dos definiciones equivalentes siguientes:

$$x \subset y \text{ si y sólo si } x \cup y = y$$
$$x \subset y \text{ si y sólo si } x \cap y = x$$

consistente en lo siguiente: "para probar que todos los elementos de un conjunto bien ordenado cumplen una determinada propiedad basta demostrar que un elemento la cumple si la cumplen todos los que le preceden y que, en particular, la cumple el primero". En los conjuntos discretos el anterior se reduce al conocido *principio de inducción completa*, consistente en que "la prueba de que todos los elementos cumplen una propiedad se consigue demostrando que la cumple el primero y que la cumple un elemento cualquiera si lo hace el anterior".

La posibilidad de aplicar el principio de inducción transfinita hace especialmente tratables los conjuntos bien ordenados y ha llevado a los matemáticos a preguntarse si todos los conjuntos podrían dotarse de una buena ordenación. Para algunos conjuntos la solución es evidente —por ejemplo, el de los número naturales ℕ, que también es discreto— pero hay casos, como el conjunto ℝ, para el que, tras décadas de esfuerzos, aún no se ha conseguido una buena ordenación. Ahora bien: resulta que muchos e importantes resultados de la matemática moderna no podrían probarse, o su prueba resultaría extremadamente difícil, si no se aceptara la hipótesis de que cualquier conjunto admite una buena ordenación. Ello ha conducido a suponer que es posible dar una buena ordenación a cualquier conjunto. En realidad lo que se ha hecho es admitir un resultado equivalente: el de que todo conjunto cumple el axioma *de libre elección*. Se dice que "un conjunto cumple el axioma de libre elección si admite una función de elección, es decir: una función que a toda parte no vacía del conjunto le atribuye un elemento, llamado el elemento *distinguido* de dicha parte".

Es evidente que un conjunto bien ordenado cumple dicho axioma de libre elección (basta elegir como elemento distinguido de cada parte del mismo su primer elemento). El recíproco del anterior enunciado es el llamado teorema de Zermelo, que afirma que: "Un conjunto que cumple el axioma de libre elección puede dotarse de una buena ordenación". Precisamente por ello es por lo que se ha admitido la hipótesis de que todo conjunto cumple el axioma de libre elección. La afirmación de dicha hipótesis suele conocerse como postulado de Zermelo.



Un conjunto ordenado puede representarse por un diagrama en el que cada elemento se da por un punto y tal que si $x < y$ los puntos correspondientes están unidos por un segmento o por una quebrada siempre ascendente de x a y. En la figura varios ejemplos elementales: los diez primeros números naturales con el orden usual; los mismos con la divisibilidad; las partes de {a, b, c} con la inclusión; y el conjunto $\{a_1, a_2, a_3, a_4, a_5, a_6, a_7, a_8, a_9\}$ en el que se tiene; $a_1 < a_9$, $a_2 < a_9$, $a_9 < a_8$, $a_3 < a_8$, $a_3 < a_7$ y $a_4 < a_6$.

Conjuntos bien ordenados Cuando un conjunto B totalmente ordenado es tal que cualquiera de sus partes no vacías tiene mínimo o *primer* elemento se dice que está bien ordenado; en particular, el propio B tiene *primer* elemento y todo elemento tiene un *siguiente* (el mínimo de los mayores a él) aunque puede no tener *precedente*. Precisamente, un conjunto bien ordenado, D, en el que todo elemento, distinto del primero, tiene también *precedente* se llama *discreto*. Se llama, por último, conjunto *doblemente bien ordenado* a aquel que cualquiera de sus partes no vacías tiene primer y último elemento; por tanto, cualquiera de sus elementos, salvo el primero, tiene precedente y, salvo el último, siguiente. En realidad, un conjunto doblemente bien ordenado es, simplemente, un conjunto discreto con último elemento.

En los conjuntos bien ordenados es válido el *principio de inducción transfinita*,

Numeros naturales y ordinales Los conjuntos doblemente bien ordenados y los discretos, por otra parte, pueden inmediatamente identificarse con dos tipos de conjuntos importantes de la matemática. En efecto: un conjunto *finito* no es otra cosa que un conjunto que puede ser doblemente bien ordenado. Un conjunto *natural*, es decir equipotente a ℕ, es un conjunto no vacío, discreto y sin último elemento.

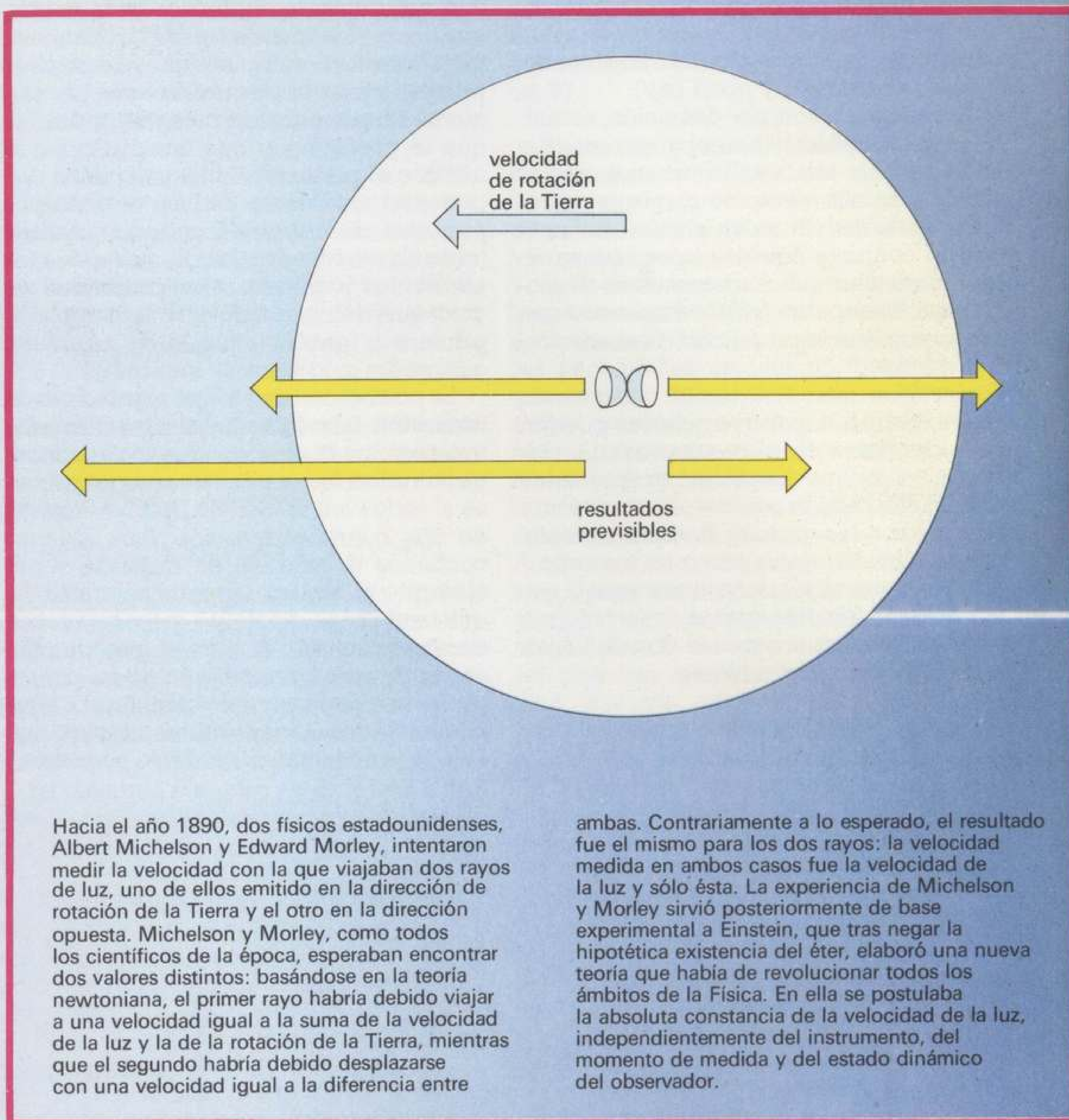
El anterior método para definir ℕ no es el único; uno prácticamente equivalente es el de dar directamente la definición axiomática de Peano; otro, utilizar el método de Cantor-Frege o de los *cardinales*. También puede recurrirse al concepto clásico de *ordinal* de Cantor.

Como se ha señalado, dos conjuntos ordenados, A y B, se llaman semejantes si existe una biyección entre ellos que respeta el orden; es decir, que si $x \leqslant y$ en el conjunto A se tiene $f(x) \leqslant f(y)$ en el conjunto B. Dos conjuntos bien ordenados se dice que tienen el mismo *tipo de orden* si son semejantes. En tal caso puede asociarse a todo conjunto C un *ordinal*, denotado *ord*(C), de tal forma que dos conjuntos bien ordenados tengan el mismo ordinal si y sólo si tienen el mismo *tipo de orden*. Más simplemente puede identificarse *ordinal* con *tipo de orden* (aprovechando que la relación "*tener el mismo tipo de orden*" es una equivalencia). A continuación se identifican los ordinales de los conjuntos finitos con los números naturales. Los ordinales de los conjuntos infinitos se llaman ordinales transfinitos. Se designa por ω al de los números naturales, $\omega + 1$, al siguiente, etcétera.

Véase **Algebra de Boole; Aritmética; Conjuntos, teoría de; Continuo matemático; Números; Relación, correspondencia y aplicación; Relación de equivalencia**

Relatividad, teoría general de la

En 1905, en el número 18 de la revista científica alemana *Annalen der Physik*, aparecía un artículo titulado "Sobre la electrodinámica de los medios en movimiento" en el que su autor, Albert Einstein, daba a conocer los principios de una nueva teoría que habría de revolucionar de manera irreversible la Física del siglo XX: se trataba de la Teoría de la Relatividad Restringida y en ella se estudiaban los fenómenos que se pueden observar en sistemas de referencia inerciales, es decir, sistemas que se mueven con velocidad relativa constante unos respecto a otros. Esta constituía la primera parte de un proyecto aún más ambicioso que culminaría, en 1916, con la publicación de la Teoría de la Relatividad General. Con ella, Einstein no sólo conseguiría una generalización de sus anteriores trabajos a sistemas de referencia cualesquiera, sino que lograría postular las bases de una nueva y revolucionaria teoría sobre la naturaleza del campo gravitatorio.



Hacia el año 1890, dos físicos estadounidenses, Albert Michelson y Edward Morley, intentaron medir la velocidad con la que viajaban dos rayos de luz, uno de ellos emitido en la dirección de rotación de la Tierra y el otro en la dirección opuesta. Michelson y Morley, como todos los científicos de la época, esperaban encontrar dos valores distintos: basándose en la teoría newtoniana, el primer rayo habría debido viajar a una velocidad igual a la suma de la velocidad de la luz y la de la rotación de la Tierra, mientras que el segundo habría debido desplazarse con una velocidad igual a la diferencia entre ambas. Contrariamente a lo esperado, el resultado fue el mismo para los dos rayos: la velocidad medida en ambos casos fue la velocidad de la luz y sólo ésta. La experiencia de Michelson y Morley sirvió posteriormente de base experimental a Einstein, que tras negar la hipotética existencia del éter, elaboró una nueva teoría que había de revolucionar todos los ámbitos de la Física. En ella se postulaba la absoluta constancia de la velocidad de la luz, independientemente del instrumento, del momento de medida y del estado dinámico del observador.

Antecedentes de la Relatividad La Teoría de la Relatividad, como todas las grandes teorías revolucionarias, no surge casualmente ni es fruto del azar; es la última consecuencia de un proceso teórico cuyo objetivo final es superar las contradicciones que, en nuestro caso, caracterizaban a la Física de principios de siglo.

En efecto, desde el siglo XVIII, la Física constituía un edificio perfecto y acabado, que descansaba sobre las leyes inmutables de la Mecánica newtoniana. A pesar de su maravillosa coherencia y belleza interna, la Mecánica de Newton pronto iba a chocar con dificultades, debido, precisamente, a que se la creía universalmente aplicable. Estas dificultades aparecieron a finales del siglo XIX, en relación con otra importante parte de la Física que acababa de nacer: el Electromagnetismo. En 1862, Maxwell había logrado una maravillosa labor de síntesis teórica al lograr reunir, en cuatro fórmulas que llevan su nombre, todas las leyes que rigen el comportamiento de los fenómenos eléctricos y magnéticos, logrando de paso predecir la existencia de ondas electromagnéticas que se propagan en el vacío a una velocidad dada por la constante *c*. Fue precisamente el valor de esta constante el que sugirió a Maxwell que la luz era un fenómeno de carácter electromagnético.

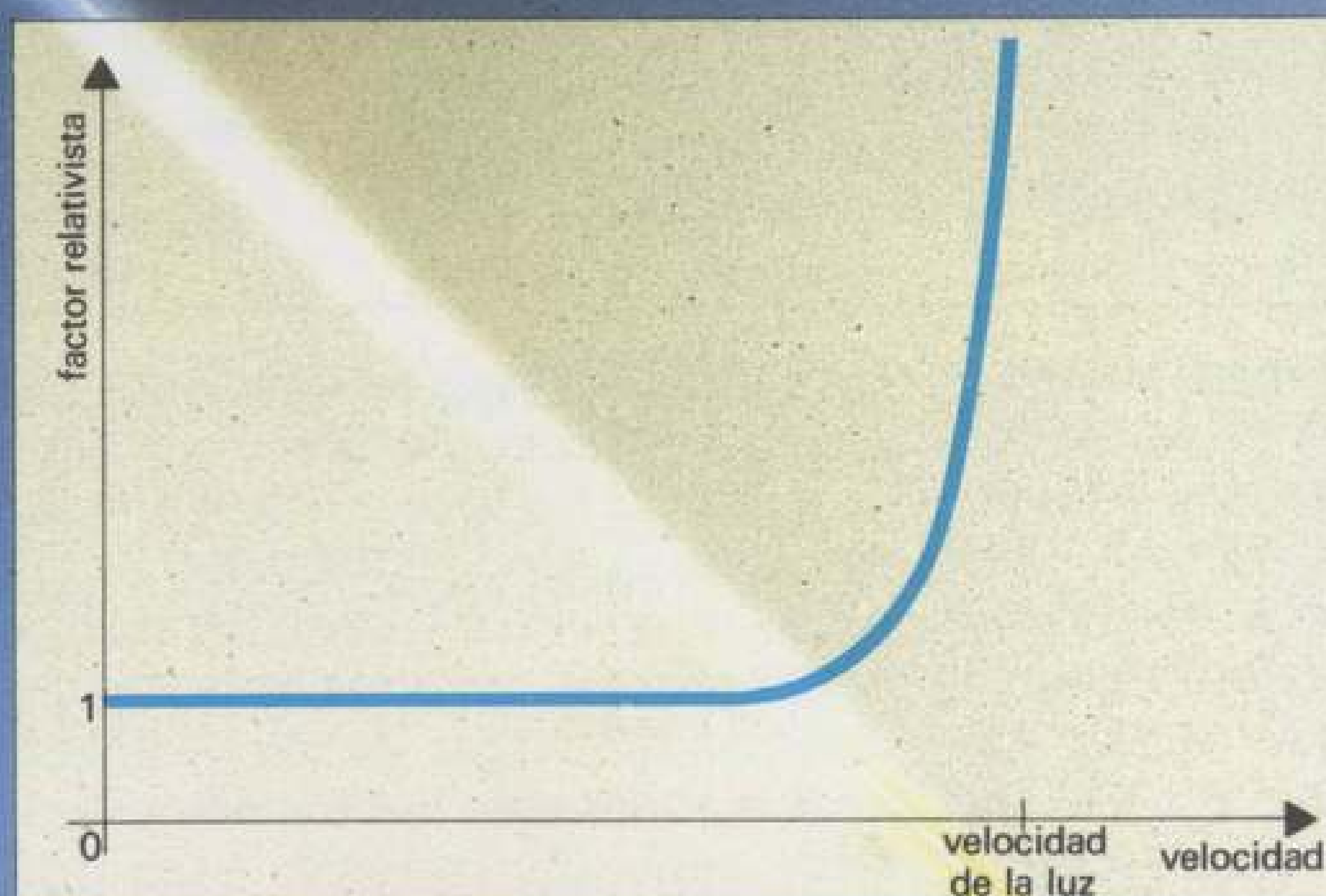
La cuestión de la propagación de las ondas electromagnéticas en el vacío no era fácilmente explicable desde el punto de vista de la Mecánica clásica, ya que, según ésta, todo movimiento ondulatorio requería de un medio sobre el que propagarse. Con el fin de explicar la propagación de la luz, los físicos habían postulado la existencia de un hipotético fluido que servía de soporte a las ondas luminosas: el éter. Se caracterizaba éste por ser una sustancia sutilísima que llenaba el espacio, que no oponía la más mínima resistencia al paso de los cuerpos sólidos, entre ellos los planetas y que, sin embargo, tenía una tenacidad superior a la de cualquier sólido conocido. Las ecuaciones de Maxwell, en un principio, eran sólo consideradas válidas para sistemas de referencia que se encontrasen en reposo con respecto a este supuesto éter.

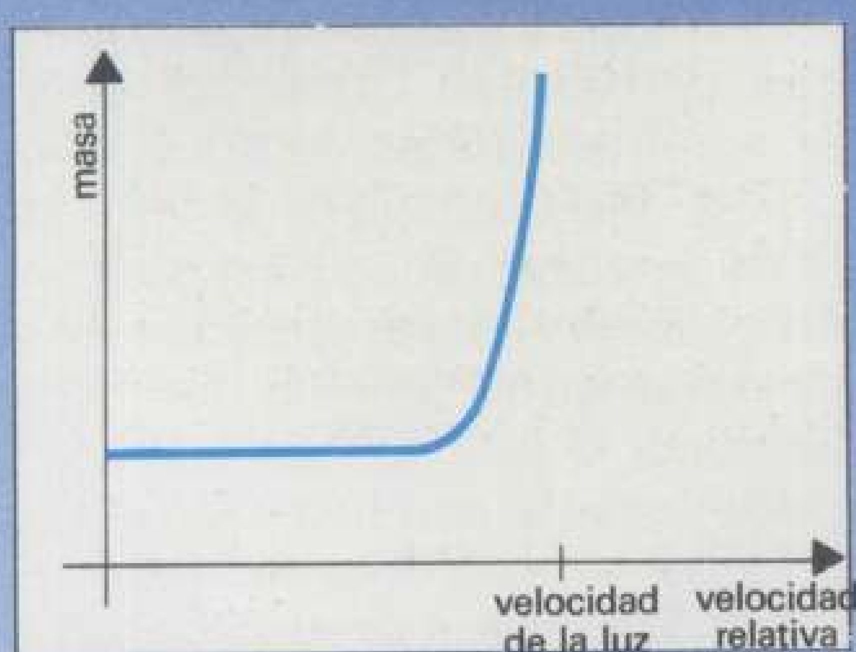
El primer problema surge al intentar comprobar, según los postulados de la Mecánica clásica, la invariancia frente a una transformación de las ecuaciones de Maxwell. La invariancia de una ley física frente a una transformación (cambio de sistema de referencia) expresa la propiedad de dicha ley de conservar su forma al realizar dicha transformación. Así, por ejemplo, la ley fundamental de la Dinámica, $F=m\cdot a$, es invariante frente a las transformaciones entre sistemas de referencia inerciales (que se mueven uno respecto al otro con velocidad rectilínea uniforme) y, sin embargo, no lo es en el caso de que se quiera pasar a un sistema no inercial, es decir, sujeto a aceleraciones.

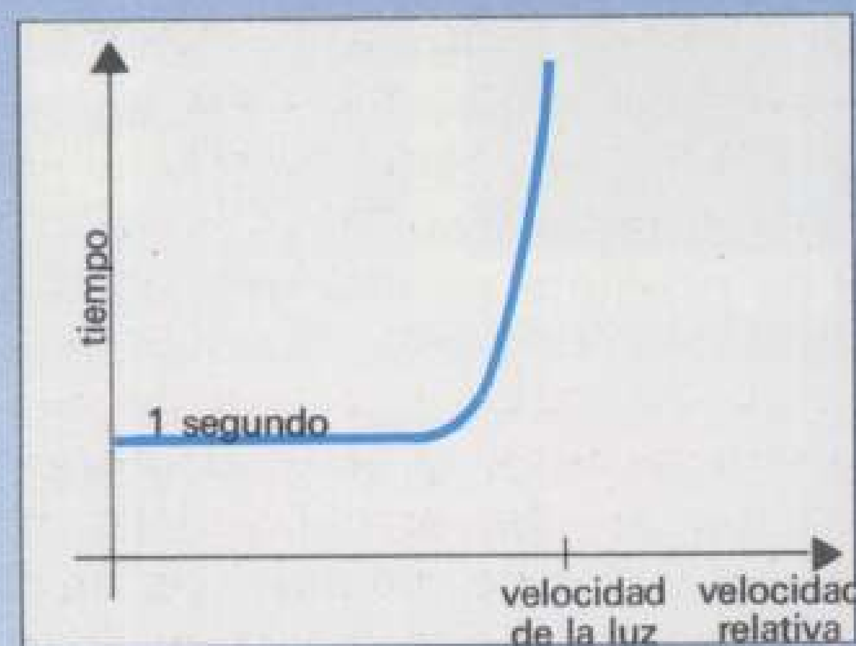
Supongamos un observador que dispone de un foco luminoso y lanza un rayo de luz que se propaga con una velocidad *c* en una determinada dirección. Supongamos un segundo observador que se desplaza con una velocidad *v* respecto al primero y en la misma dirección del rayo de luz. El sentido común y la ley de composición de velocidades de la Mecánica clásica nos dice que si el segundo observador intentara medir la velocidad con que se desplaza el rayo, obtendría el valor $c-v$. Análogamente, si el segundo observador se desplazase en el sentido contrario al del rayo, mediría una velocidad $c+v$. En cualquiera de los casos, por tanto, el segundo observador mediría velocidades distintas para el rayo de luz, y las leyes de Maxwell tendrían que ser modificadas en cada caso, es decir, no serían invariantes y perderían su universalidad. Hemos deducido, pues, que si no cambiamos las consideraciones de tipo mecánico (en este caso, la ley de composición de velocidades), las leyes de Maxwell no resultan invariantes para un cambio de sistema del tipo indicado. Bastaría entonces que determinásemos, por medio de experimentos ópticos o electromagnéticos, la forma que toman dichas ecuaciones en cualquier sistema para poder conocer, exactamente, la velocidad absoluta de dicho sistema con respecto al hipotético éter.

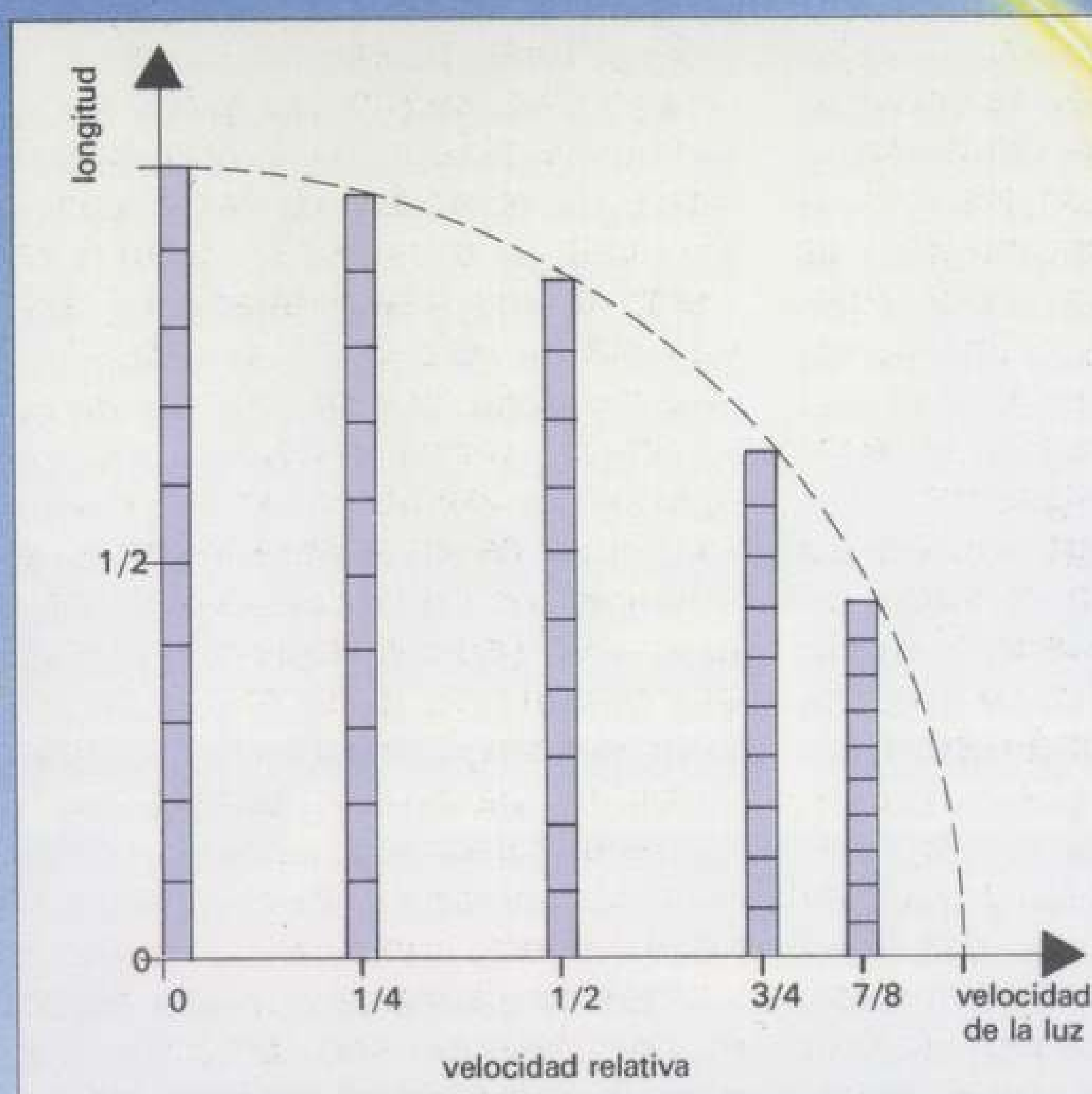
La existencia del éter brindaba una oportunidad única de disponer de un sistema de referencia absoluto a partir del cual poder detectar y medir, por ejemplo, el movimiento de nuestro planeta. El razonamiento era el siguiente: si la Tierra se desplazaba a través del éter, era lógico

El dibujo de fondo de esta página corresponde a una representación bidimensional del continuo espacio-tiempo cuadrimensional (irrepresentable). La posición de un móvil puntual en un instante t viene dada por sus coordenadas (x, y, z). La posición espacial se representa en el eje de abscisas, mientras que el eje de ordenadas representa el tiempo. Si anotamos a lo largo del tiempo las posiciones espaciales por las que pasa el móvil, el conjunto de cuádruplas (x, y, z, t) formará la "línea del universo" de dicho móvil. Del hecho de que ningún móvil pueda superar la velocidad de la luz, se deduce que la línea del universo de cualquier móvil no puede estar más inclinada que las diagonales, que representan la velocidad de la luz. El cono formado por las diagonales corresponde a un hipercono cuadridimensional y representa el conjunto de puntos alcanzado por un rayo de luz lanzado desde el origen en el instante $t = 0$. La línea del universo de cualquier móvil debe quedar dentro del cono de luz, ya que sólo los puntos interiores son alcanzables por cualquier móvil. Por tanto, el conjunto de puntos espacio-tiempo que se pueden alcanzar por medio de móviles o señales luminosas está contenido dentro de la parte superior del cono $(t \geqslant 0)$ y constituye el futuro. El conjunto de puntos espacio-tiempo desde los cuales se puede recibir un móvil o una señal lanzada anteriormente está contenido en la parte inferior del cono $(t \leqslant 0)$ y constituye los sucesos pasados. Así, la luz que nos llega de las estrellas fue emitida en el pasado y, como vemos en el dibujo, nos llega siguiendo las diagonales inferiores.

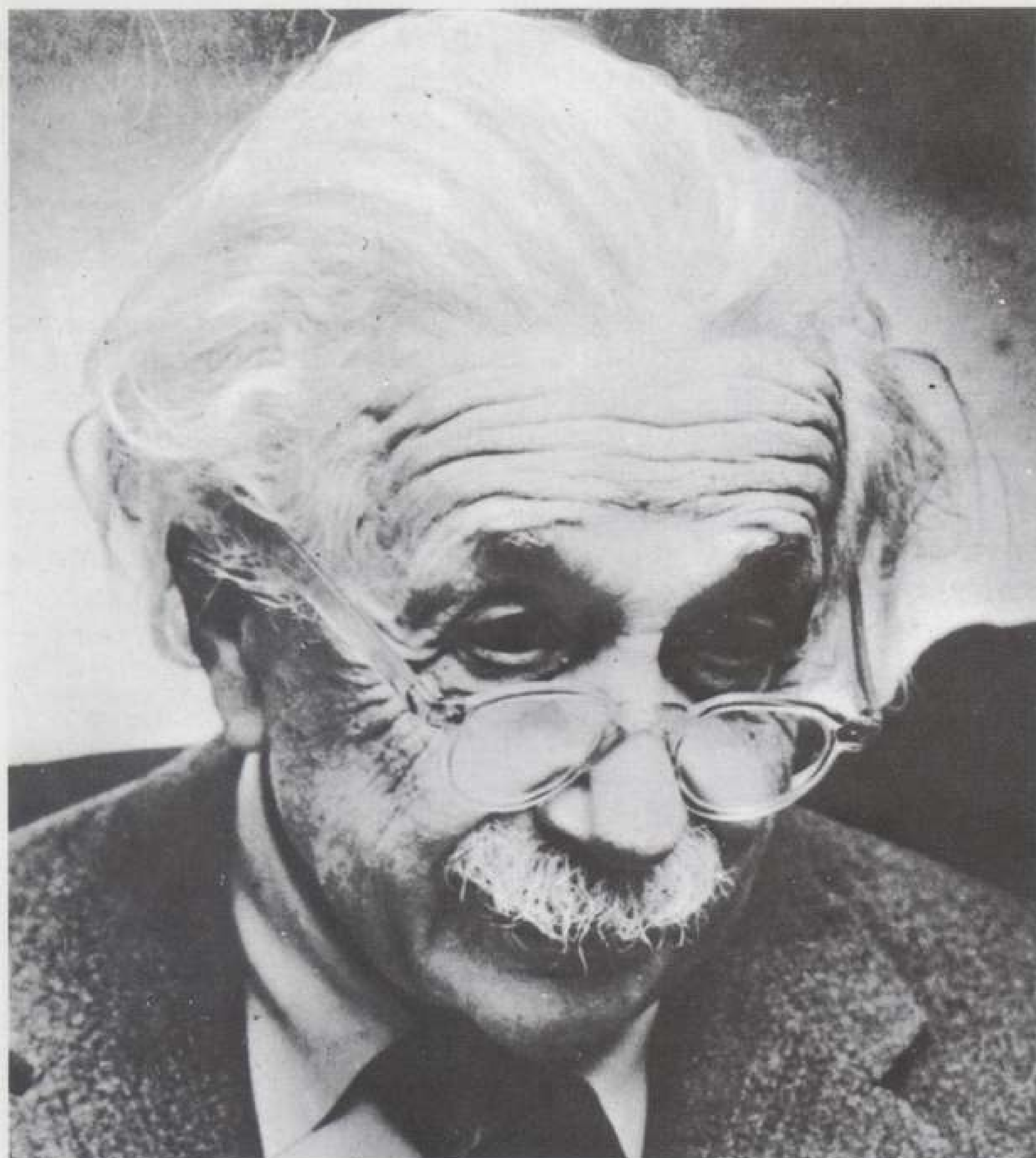








De acuerdo con la Teoría de la Relatividad, la nueva ley de composición de velocidades para un par de móviles en movimiento relativo uniforme deja de ser la euclidiana. En la nueva ley de composición aparece un factor relativista de corrección que tiene en cuenta la constancia de la velocidad de la luz. Este nuevo factor se caracteriza por ser prácticamente igual a la unidad para las velocidades pequeñas de orden clásico. El diagrama superior, a la izquierda de estas líneas, nos muestra la variación de este factor a medida que la velocidad relativa entre dos móviles aumenta y se aproxima a la de la luz. Como se puede observar, para velocidades relativas pequeñas (límite clásico), el factor es igual a la unidad, de forma que las correcciones relativistas son prácticamente inapreciables. En los diagramas inferiores se muestran algunas de las consecuencias de la Teoría de la Relatividad. El diagrama junto a estas líneas recoge la contracción espacial de un objeto en movimiento. Los dos diagramas más a la izquierda indican la variación que experimenta la masa de un móvil material a medida que aumenta su velocidad (diagrama superior), y el efecto de dilatación del tiempo (diagrama inferior).



Albert Einstein nació en Ulm, Wurttemberg, el 14 de marzo de 1879. Su padre, Hermann, tenía un taller mecánico; de su madre, Pauline Koch, Albert heredó sus dotes artísticas poco comunes, la sensibilidad por la música y el humor cáustico. Fue iniciado en Matemáticas por su tío Jacob, ingeniero, hermano de su padre. En la escuela no fue en absoluto un alumno modelo; tras abandonar el instituto intentó, en 1895, la admisión en la Escuela Politécnica de Zurich, pero fue rechazado en todas las materias, exceptuando las matemáticas. Consiguió matricularse en el Politécnico al año siguiente, tras asistir durante un año a las escuelas cantonales de Arrau y obtener el consiguiente diploma. Se licenció en el año 1900, y tras cuatro años de intensos estudios, en condiciones económicas difíciles, consiguió un puesto en la oficina de patentes de Berna. Precisamente mientras cubría este puesto aislado de los ambientes oficiales de la investigación científica y de la Universidad, Einstein consiguió formular, en 1905, su Teoría de la Relatividad. En 1909, debido a los resultados obtenidos, obtuvo un puesto de enseñanza en la Universidad de Zurich. Después fue profesor en la Universidad Alemana de Praga; en 1912 fue llamado al Politécnico de Zurich, y al año siguiente se trasladó a Berlín, donde fue nombrado miembro de la Academia Prusiana de Ciencias. En 1921 recibió el Premio Nobel por sus investigaciones sobre Física teórica y por el descubrimiento de la ley del efecto fotoeléctrico. Con la llegada al poder del nacionalsocialismo dejó Alemania y se trasladó a Estados Unidos, donde trabajó, hasta su muerte (ocurrida en 1955), primero en el Instituto de Estudio Avanzado de Princeton y después, desde 1945, de forma privada.

que sobre la superficie se detectase un viento de éter. Fueron numerosos los experimentos que se realizaron con el fin de detectar el éter, aunque, sin duda, el más famoso fue el realizado por Michelson y Morley, valiéndose de un interferómetro. El objetivo era demostrar que debían encontrarse valores distintos para la velocidad de la luz según se midiese su valor en la dirección que coincide con la del movimiento de la Tierra o en la contraria. El resultado del experimento resultó, sin embargo, negativo. Por más que el aparato se perfeccionó y por mayor que fue la precisión y la finura de las medidas, el resultado era siempre el mismo: la luz parecía propagarse en todas las direcciones con la misma velocidad, ya fuera a favor del hipotético "viento del éter" como en contra. En definitiva, se confirmaba la imposibilidad de demostrar, por medio de medidas de la velocidad de la luz, el movimiento de la Tierra a través del éter.

La Relatividad Restringida Es en esta situación donde Einstein plantea una nueva línea de pensamiento: las experiencias de Michelson y Morley parecen estar de acuerdo con las bases del electromagnetismo (c=constante) y nada parece confirmar la existencia del éter como soporte hipotético de las ondas electromagnéticas. ¿Y si el éter no fuera más que una ficción? Y si el error estuviese en la Mecánica clásica, ¿no sería posible reconstruirla abandonando conceptos como el de la propagación instantánea y el del tiempo absoluto que de ella se deducen? Tratando de dar respuesta a estas preguntas, Einstein hace pública, en 1905, la Teoría de la Relatividad Restringida. Los postulados en los que se basa son dos:

- Todas las leyes de la Naturaleza, tanto las de la electrodinámica como las de la mecánica, deben ser las mismas para observadores situados en sistemas de referencia inerciales, es decir, sistemas que se desplazan con velocidad relativa constante unos con respecto a los otros. Esto viene a ser lo mismo que postular la imposibilidad de determinar el estado de movimiento o de reposo de un sistema inercial por medio de experimentos, tanto mecánicos como electromagnéticos, realizados en su interior.
- La velocidad de la luz en el vacío es constante e independiente del estado dinámico tanto del observador como del foco emisor.

El segundo postulado, al afirmar la constancia de c, parece violar la ley de composición de velocidades de la Mecánica clásica. Einstein se vio obligado, por tanto, a buscar unas nuevas transformaciones que, aceptando la constancia de la velocidad de la luz, fuesen compatibles con las transformaciones de Galileo. Estas nuevas fórmulas, a las que ya había llegado Lorentz por otro camino, relacionaban observaciones espacio-temporales realizadas por observadores situados en sistemas de referencia inerciales distintos.

Efectos cinemáticos relativistas En la medida en que no entran en consideración grandes velocidades, las fórmulas de transformación de Lorentz conducen a resultados prácticamente iguales a los obtenidos mediante las transformaciones de Galileo. En este sentido, se puede decir que la Relatividad engloba a la Mecánica clásica. Sin embargo, al comenzar a considerar grandes velocidades, del orden de fracción de la velocidad de la luz, las cosas cambian y nos encontramos con resultados, desde el punto de vista clásico, sorprendentes. En efecto, espacio y tiempo, dos conceptos independientes y absolutos desde el punto de vista de la Mecánica clásica, dejan de serlo para convertirse en conceptos relativos cuya medida depende del estado de movimiento del sistema desde el cual se observan. Así, tanto las medidas espaciales como temporales que se realicen desde un sistema dado se verán afectadas, según las transformaciones de Lorentz, por la velocidad con que se desplaza dicho sistema. Supongamos dos observadores situados en distintos sistemas de referencia inerciales K y K'. El sistema K' se desplaza con una velocidad v constante con respecto a K, que permanece en reposo. Si cada observador está equipado con sus propios relojes en reposo, se puede comprobar que, como consecuencia de las transformaciones de Lorentz, ambos observadores no sólo asignarán números diferentes a la posición, sino distintos valores al instante en el cual se produce un determinado fenómeno. Realizando los cálculos oportunos se puede comprobar que un cierto intervalo de tiempo, medido en el reloj que se desplaza con el observador en movimiento, resulta inferior a la diferencia entre las dos lecturas que describen el comienzo y el final de dicho intervalo en el sistema fijo: esto equivale a decir que el reloj móvil parece marchar más lento al ser observado desde K. Este efecto es conocido

como *dilatación del tiempo*, ya que los segundos del reloj móvil aparecen dilatados en comparación con los del reloj que permanece con el observador en reposo.

Consideremos ahora una varilla indeformable que se desplace con el sistema *K'*. Si utilizamos las transformaciones de Lorentz se puede comprobar que la longitud de la varilla, medida desde el sistema *K*, que permanece en reposo, es menor que la medida por el observador que se desplaza con ella; luego, la varilla parece experimentar una contracción en la dirección de su movimiento. Este fenómeno se conoce como *contracción del espacio*.

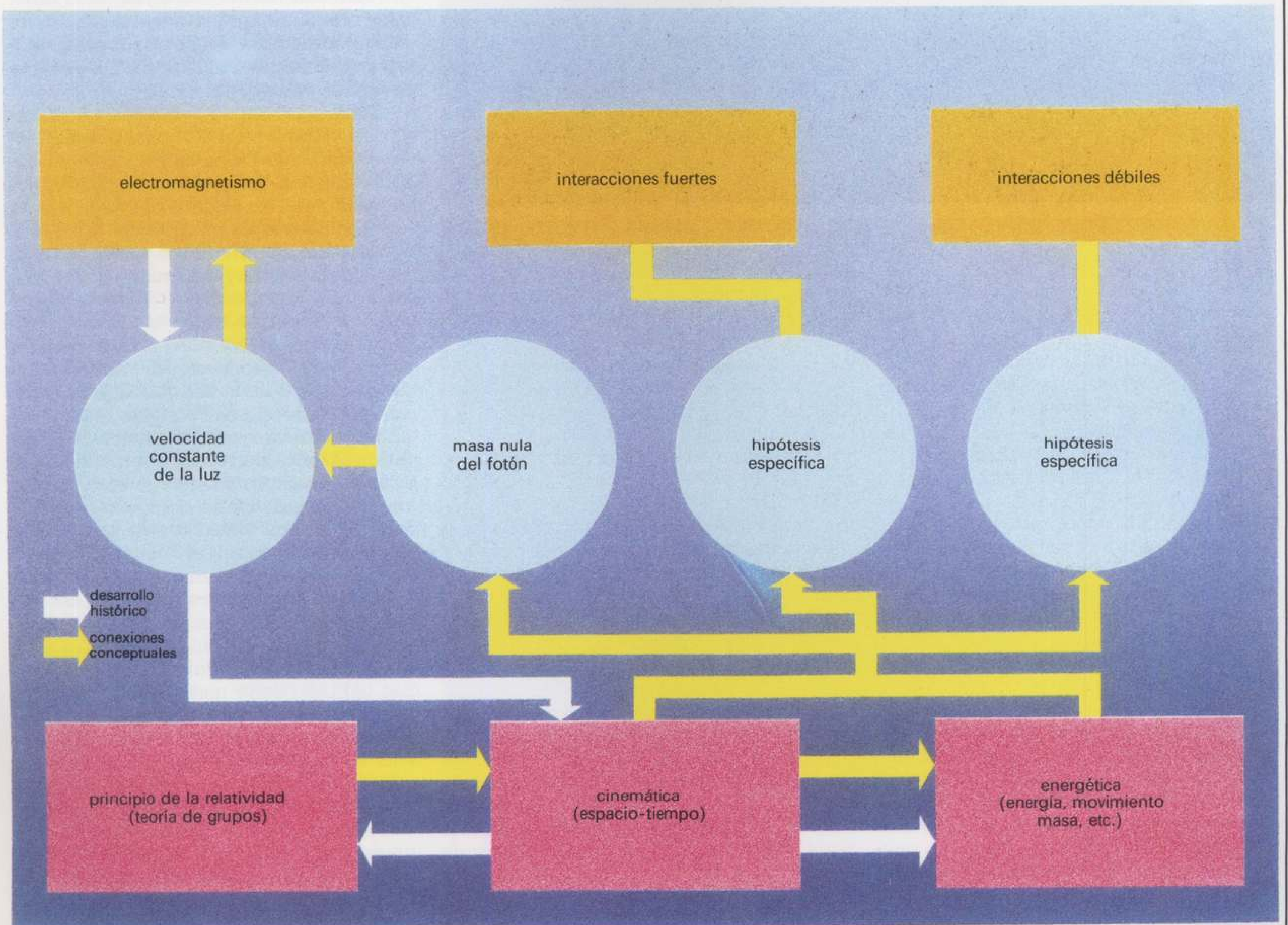
Casi a diario, los físicos nucleares tienen que tener en cuenta el efecto de la dilatación del tiempo al experimentar con partículas inestables (por ejemplo, los mesones) que se propagan con velocidades próximas a las de la luz; en efecto, su período de semidesintegración aumenta considerablemente, comparado con el que presentan cuando están en reposo o se mueven a velocidades pequeñas.

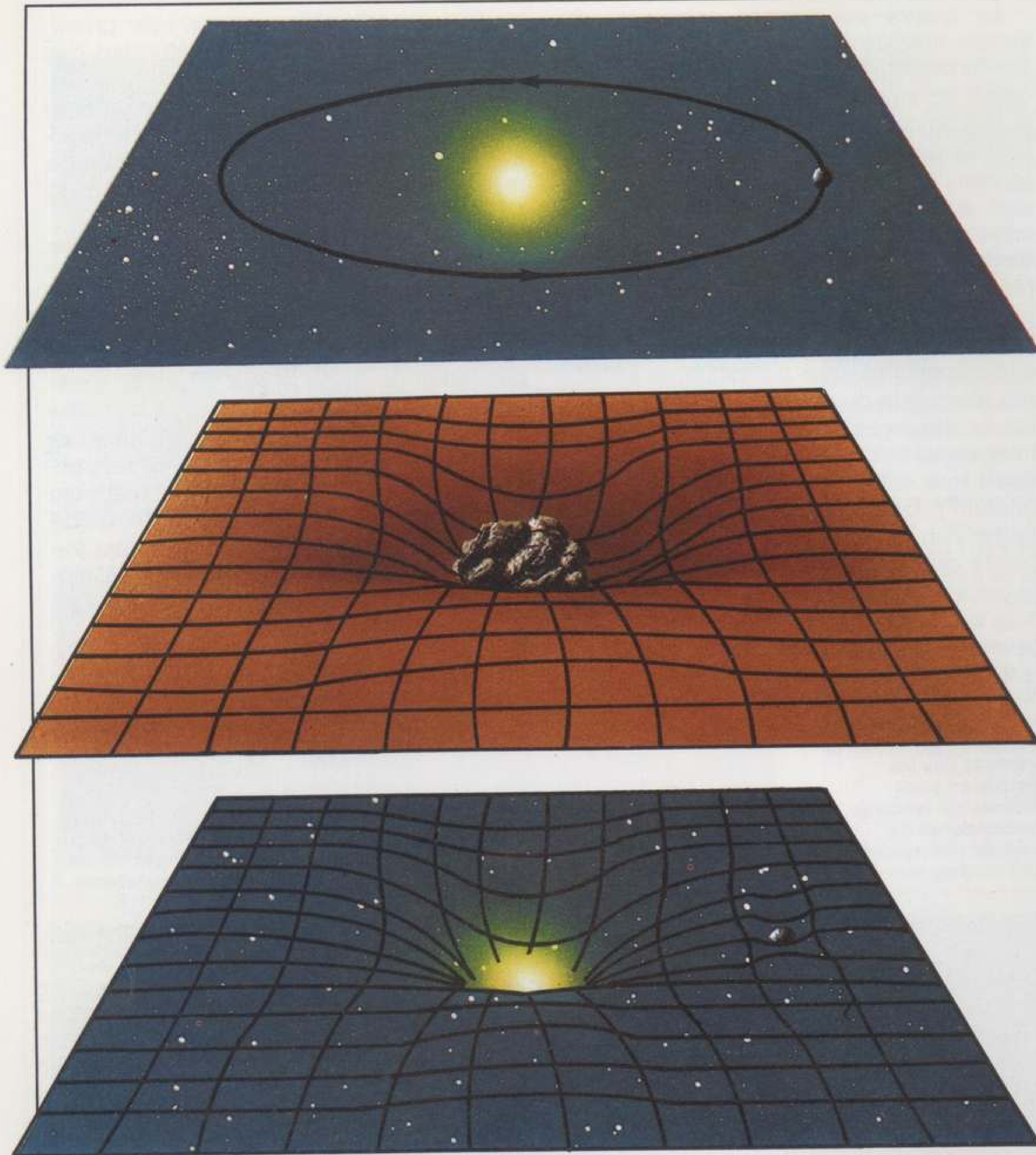
La nueva concepción relativista del tiempo implica además, como consecuencia inmediata, una redefinición del concepto de simultaneidad. De acuerdo con la Mecánica clásica, dos sucesos que son simultáneos con respecto a un sistema de referencia lo son también para cualquier otro sistema. Esta afirmación es consecuente si aceptamos la hipótesis clásica de que la velocidad de la luz es infinita y, por tanto, que toda señal luminosa se propaga instantáneamente en el espacio. Pero disponemos de diferentes pruebas experimentales que confirman el principio relativista de que la velocidad *c* de la luz es una constante cuyo valor, aunque muy elevado (300.000 km/s), es finito. Por tanto, una señal emitida desde un determinado punto empleará un tiempo real en llegar a un observador situado a cierta distancia de él. Esto significa que dos acontecimientos que son simultáneos respecto a un sistema de referencia pueden no serlo respecto a otro sistema.

Einstein se vio obligado, por tanto, a introducir una modificación en este principio. Según la Teoría de la Relatividad, dos sucesos, S_1 que ocurre en P_1 y S_2 que ocurre en P_2, son simultáneos cuando un rayo de luz lanzado desde P_2 en el momento en que ocurre S_2 llega a P_1 un tiempo $t=x/c$ después de que haya ocurrido S_1, siendo x la distancia entre P_1 y P_2.

Veamos un ejemplo: supongamos dos sistemas (dos coches, por ejemplo) *K* y *K'* sobre la línea recta de una carretera. El primero, *K*, está en reposo y dispone de un foco luminoso que puede alumbrar ambos lados de la carretera. Situados simétricamente respecto al coche *K*, a la misma distancia, por detrás y por delante, se encuentran dos espejos A y B, respectivamente, también fijos con respecto a *K*. Supongamos que el segundo coche *K'* se desplaza por la carretera a una velocidad *v* constante, de forma que en el momento $t=0$ en que el coche *K'* adelanta a *K*, desde este último se lanza un destello luminoso. La pregunta es si el destello alcanzará ambos espejos simultáneamen-

El diagrama muestra esquemáticamente las relaciones históricas y los enlaces conceptuales entre algunos campos fundamentales de la investigación física relacionados con la Teoría de la Relatividad. Las flechas blancas indican la dirección del desarrollo histórico, mientras que las flechas en color indican, sin embargo, las relaciones de carácter conceptual. Los rectángulos indican teorías o campos de investigación; los círculos representan hipótesis particulares o elementos que sirven como puente de unión. A finales del siglo XVIII, los físicos estudiaban las propiedades electromagnéticas de la materia con objeto de hacerlas compatibles con los principios de la Mecánica clásica. El gran mérito histórico de Einstein fue cambiar la Mecánica para hacerla compatible con el Electromagnetismo.





La Teoría de la Relatividad prevee que la masa altera la naturaleza del continuo espacio-tiempo. Allí donde la curvatura del espacio-tiempo es muy reducida, la Dinámica newtoniana y la Geometría euclídea sirven para describir cualquier aplicación práctica, pero en aquellas regiones donde se presentan grandes cantidades de materia, la deformación del espacio-tiempo ya no es despreciable, y, del mismo modo que la Física newtoniana deja paso a las consideraciones relativistas, también la Geometría euclídea deja de ser válida. En el dibujo superior se muestra la órbita recorrida por la Tierra alrededor del Sol, que convencionalmente se considera debida a la atracción gravitacional. Esta trayectoria es similar al recorrido seguido por una bola de billar que se mueve en un plano de goma curvado por una piedra situada en el mismo (dibujo del centro). Efectivamente, la curvatura de una superficie de goma en la que se coloca una piedra pesada es análoga a la curvatura del espacio-tiempo en las proximidades de una estrella de gran masa (dibujo inferior).

te. En el sistema fijo K, evidentemente, el destello alcanzará los espejos a la vez, ya que ambos se encuentran a igual distancia del coche. Pero ¿qué observaría un observador desde el coche K'? Este observaría cómo el coche K y los espejos se mueven solidariamente hacia atrás (realmente es él quien avanza). En el momento de producirse el destello, los espejos se encontraban, también para él, a la misma distancia, pero, antes de que el destello los alcance, ya se han desplazado un poco más hacia atrás, de forma que B se encuentra más cerca que A del lugar donde se produce el destello. Como la velocidad de la luz es igual en ambos sentidos, el observador en K' verá que el destello alcanza el espejo B antes que el A. En conclusión, dos sucesos que son simultáneos para un observador en K no lo son para otro observador en K'.

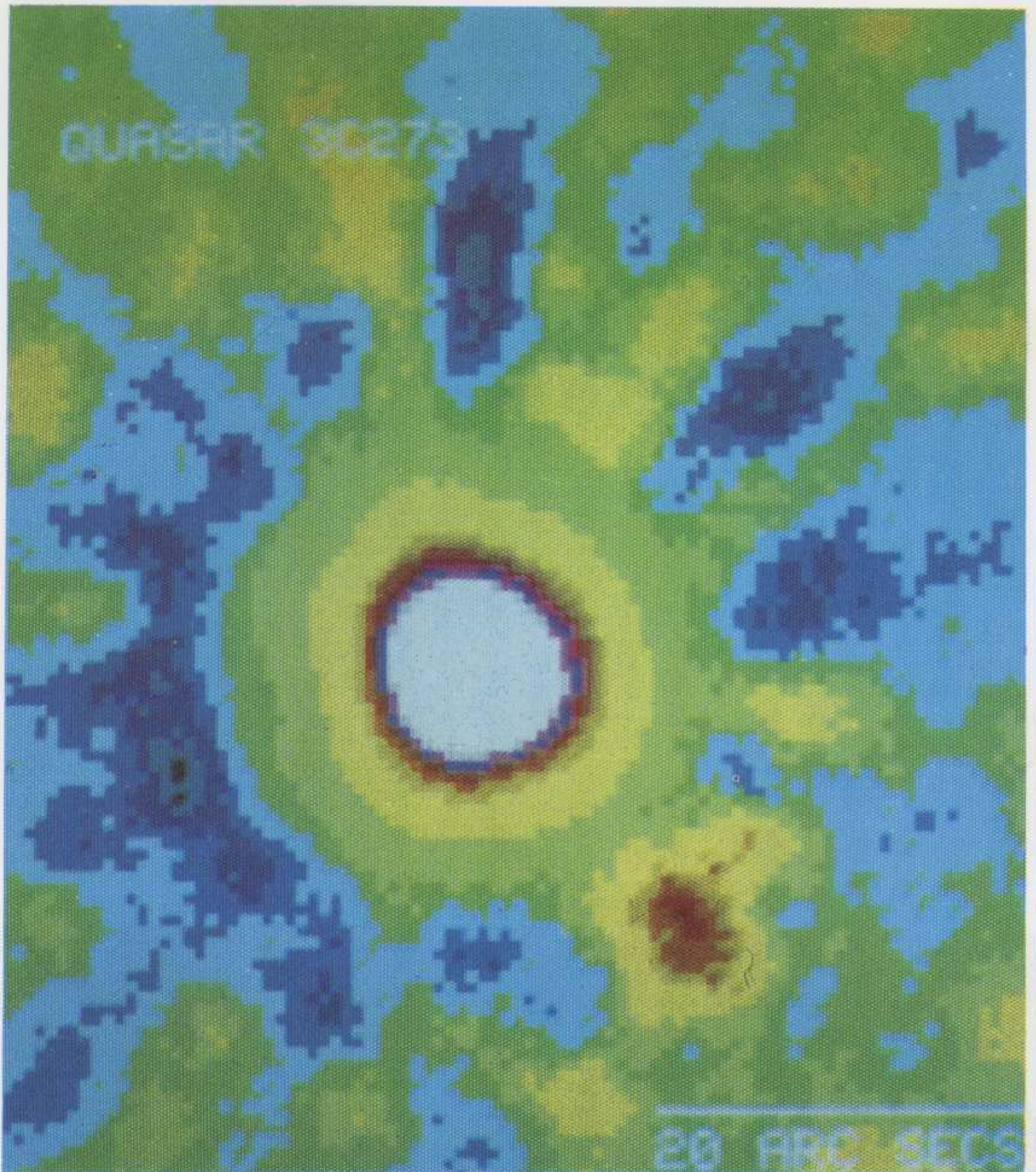
Relatividad y Dinámica El objetivo prioritario de Einstein era abarcar todas las leyes de la Física en el sentido de que todas ellas fueran invariantes con respecto a las nuevas transformaciones de Lorentz. Hemos visto cómo la Cinemática clásica fue modificada para ponerla de acuerdo con la Teoría de la Relatividad, sin por ello tener que contradecir ninguna antigua experiencia. ¿Qué sucede entonces con la Dinámica? El postulado clásico de la ley fundamental de la Dinámica dice que al actuar con una fuerza exterior F sobre un cuerpo de masa m se comunica a este último una aceleración a, de forma que se cumpla la igualdad $F=m \cdot a$. Esta ley es invariante con respecto a la transformación clásica, pero no lo es con respecto a las transformaciones de Lorentz. Desde el punto de vista relativista se impone, por tanto, una nueva formulación de la Dinámica que, sin contradecir los resultados experimentales de la Física clásica, esté de acuerdo con las transformaciones de Lorentz.

La Física clásica está basada en los conceptos absolutos de espacio y tiempo: a un tiempo absoluto le corresponden necesariamente masas invariables. Para Einstein, la noción de tiempo relativo implica una nueva dinámica de masas variables o, lo que es lo mismo, una redefinición de la masa en función de su velocidad. Si un cuerpo tiene una masa en reposo m_o en un determinado sistema, al alcanzar una velocidad v, respecto a ese mismo sistema, adquirirá una masa $m=m_o/\sqrt{1-v^2/c^2}$, es decir, la masa de un cuerpo aumenta con su velocidad, de forma que para velocidades pequeñas con respecto a la de la luz, que son las que considera la Física clásica, la masa permanece prácticamente invariable. A partir de esta nueva definición de la masa variable y haciendo uso de las relaciones cinemáticas previamente deducidas, Einstein logró formular las nuevas leyes de la Dinámica relativista, que no sólo resultaban invariantes sino que englobaban, para valores pequeños de la velocidad, a las de la Dinámica newtoniana.

Durante los años posteriores a la publicación de la Teoría de la Relatividad, el desarrollo de la Física de partículas y la fabricación de instrumentos capaces de acelerarlas a velocidades próximas a la de la luz confirmarían plenamente la validez de esta fórmula: en efecto, al desplazarse a velocidades muy elevadas, las partículas, en sus choques, mostraban masas superiores a las que tenían en reposo. Pero quizá la conclusión más revolucionaria a la que llega Einstein en este campo de la dinámica es a la de la equivalencia entre materia y energía: la Teoría de la Relatividad demuestra que toda forma de energía tiene una determinada inercia que se resiste al cambio de movimiento, es decir, que la energía se comporta como la materia y, por tanto, puede asociársele una determinada masa. Todo cuerpo que irradia calor o luz disminuye su masa en función de la energía que pierde: así, una plancha metálica es más pesada cuando está caliente que cuando está fría. La radiación procedente del sol y de las estrellas también tiene masa, lo que significa que estos astros, al emitir energía, están perdiendo masa. La relación que expresa esta equivalencia es la igualdad $E=mc^2$, y significa que toda masa m equivale a una energía E (siendo c la velocidad de la luz en el vacío). La materia, pues, constituye un depósito casi inagotable de energía ya que, transformando tan sólo una pequeñísima parte de materia, se pueden obtener cantidades enormes de energía.

La Relatividad General Como ya hemos comentado, el verdadero interés que anima a Einstein desde un principio es el de universalizar los diversos campos de la Física en el sentido de que las leyes que rigen los comportamientos de un fenómeno puedan ser las mismas para cualquier observador, independientemente de su situación y estado de movimiento. El triunfo de la Teoría de la Relatividad Restringida consistió, precisamente, en establecer la equivalencia de los sistemas galileanos en general y en deducir las consecuencias. Sin embargo, aún se encontraba a mitad de camino de su verdadero objetivo. ¿Sería posible extender o "generalizar" la relatividad a todos los observadores posibles, de forma que las leyes de la Física fuesen invariantes y universales incluso para observadores en sistemas no galileanos? En 1915, tras dedicar más de diez años de su vida a la elaboración de un complejo aparato matemático, Einstein alcanza su objetivo y la obra cumbre de su vida con la publicación de la Teoría General de la Relatividad. En esta nueva teoría, la anterior Relatividad Restringida constituye un caso límite especial de todos los sistemas de referencia que se mueven arbitrariamente.

La Relatividad General establece primeramente "la igualdad entre masa gravitatoria y masa inercial", confirmando así una identidad que la Mecánica clásica había comprobado sin poder llegar a explicar. El hecho de que todos los cuerpos en un sistema de aceleración uniforme respondan con idéntica aceleración a la acción que sobre ellos ejerce el aparente campo existente hace sospechar a Einstein que la naturaleza de la gravedad esté íntimamente ligada a la de los sistemas no inerciales. Einstein imagina un experimento ideal: una hipotética nave espacial, en cuyo interior hay un pasajero y un laboratorio con instrumentos de medición, se encuentra en el espacio en condiciones de aislamiento total, es decir, lo suficientemente alejada de cualquier cuerpo material como para que ningún tipo de fuerza se ejerza sobre ella. La nave se encuentra, además, en reposo o en movimiento uniforme con respecto a las estrellas alejadas. En esta situación, tanto el pasajero como todos los objetos sueltos que hay en la nave flotarán libremente en su interior; no habrá ni arriba ni abajo, ni dirección





Arriba, imagen por rayos X del quasar 30273. Al estudiar las dimensiones, forma y estructura del Universo, se debe tener en cuenta el efecto neto de la curvatura espaciotemporal producida por todos los objetos materiales que contiene. En el centro del quasar existe un intenso campo gravitacional. Actualmente se trata de medir las ondas gravitacionales (que en el espacio viajan a la velocidad de la luz). Las que hasta ahora han sido detectadas parecen haber sido emitidas durante sucesos catastróficos de origen cósmico, como es la explosión de una supernova. Su estudio constituye un punto común de investigación entre la Física nuclear y la Astrofísica. A la derecha, J. Weber, pionero en el estudio de las ondas gravitacionales.

privilegiada. Todo objeto al que se le comunique un ligero impulso se alejará en línea recta hasta chocar con algún obstáculo. Supongamos que, entonces, en un determinado momento, unos cohetes situados en el exterior de la nave comienzan a funcionar, imprimiendo a la nave una cierta aceleración; tanto los objetos como el pasajero serán repentinamente lanzados contra la pared de la cabina opuesta a la dirección del movimiento. Si la aceleración proporcionada por los cohetes fuera exactamente igual al valor de la gravedad terrestre (9,8 m/s^2), el pasajero podría pensar que la nave se encuentra sobre la superficie terrestre. Cualquier tipo de experimento, tanto mecánico como electromagnético, que intentase realizar desde el interior de la nave conduciría a los mismos resultados que habría obtenido en la Tierra; luego, podría lógicamente deducir que estaba sometido a la acción de un campo gravitatorio.

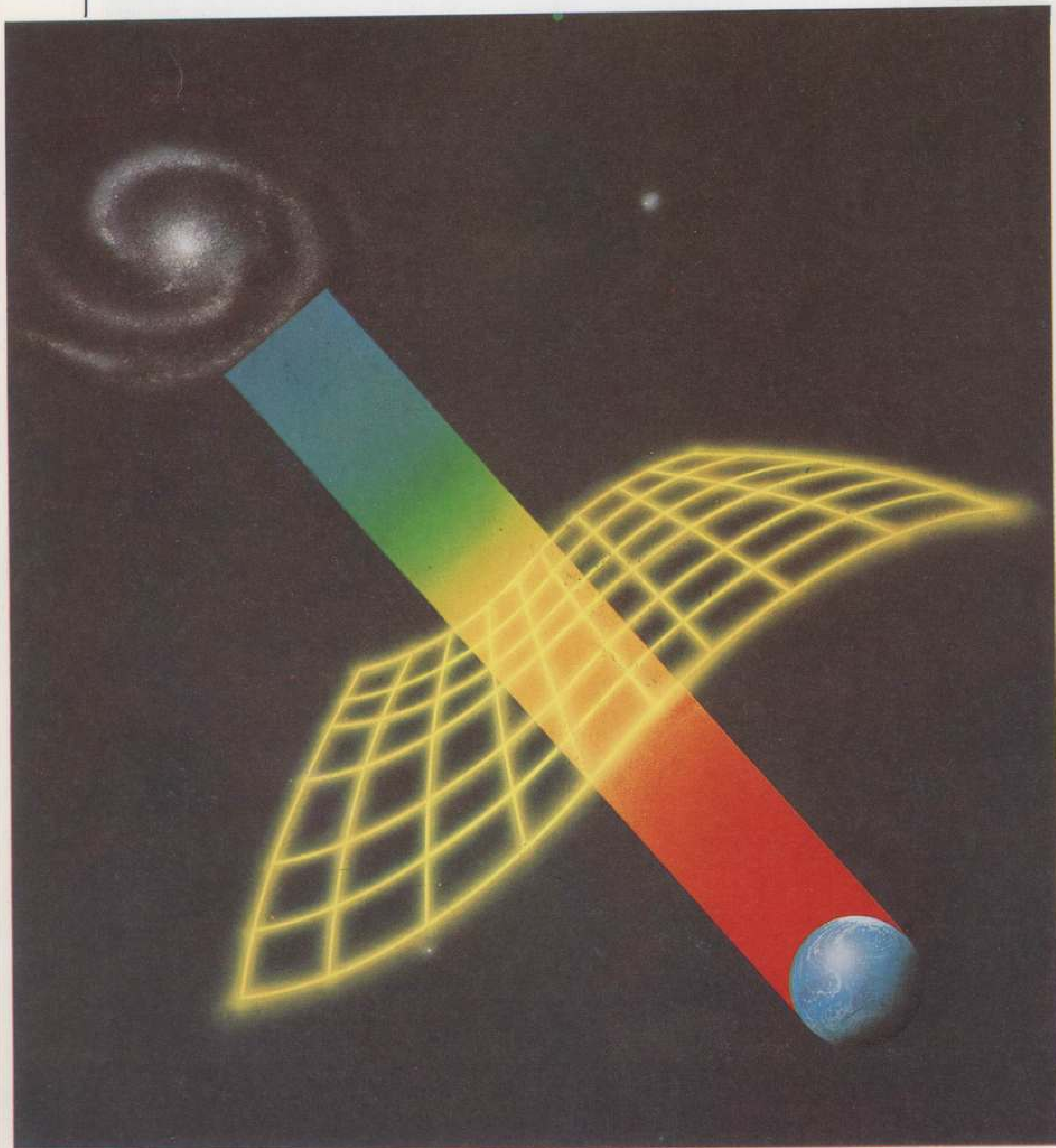
El resultado de este razonamiento condujo a Einstein a formular el *principio de equivalencia*, según el cual no existe ninguna diferencia formal entre un campo gravitatorio y una aceleración.

Einstein predijo, además, la curvatura experimentada por los rayos luminosos en su paso por el interior de un campo gravitatorio. Un haz de luz posee energía y la energía tiene masa inercial. Puesto que la masa inercial y la masa gravitatoria son iguales, el haz de luz se curvará en un campo gravitatorio, exactamente igual que lo haría un cuerpo material cualquiera lanzado en la misma dirección y con la misma velocidad.

A partir de estas conclusiones, surgidas del cálculo puro (ya que el único resultado tomado de la experiencia es la identidad de masas), Einstein dedujo la nueva ley de gravitación universal. Las ecuaciones gravitatorias de la Teoría General de la Relatividad conducen a la conclusión de que nuestro mundo no es, como siempre se había supuesto, euclidiano, sino que se rige por una nueva geometría (la geometría de Riemann), cuya naturaleza curva viene determinada por la distribución de la materia y su velocidad. Así, en un campo gravitacional, las proporciones de la Geometría euclidiana dejan de ser rigurosamente verdaderas. En un campo gravitacional, no solamente no hay paralelas, sino que la noción misma de la línea recta pierde toda su significación.

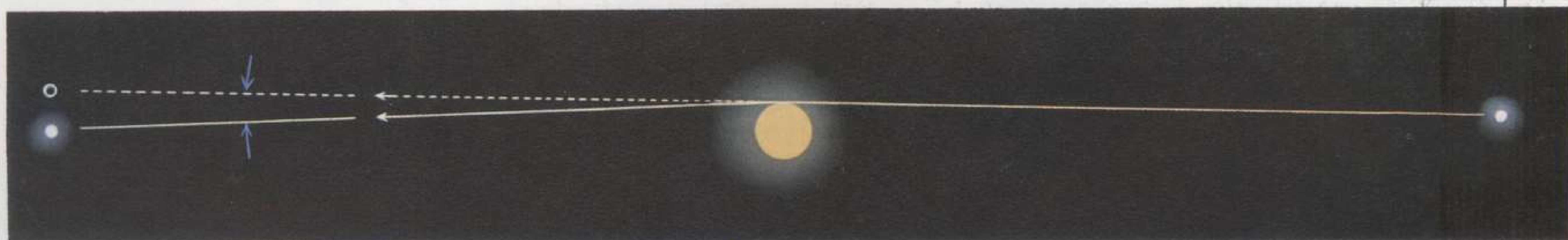
Véase **Agujero negro; Relatividad Restringida (E-mc²); Física de partículas; Quasar; Tiempo; Universo**

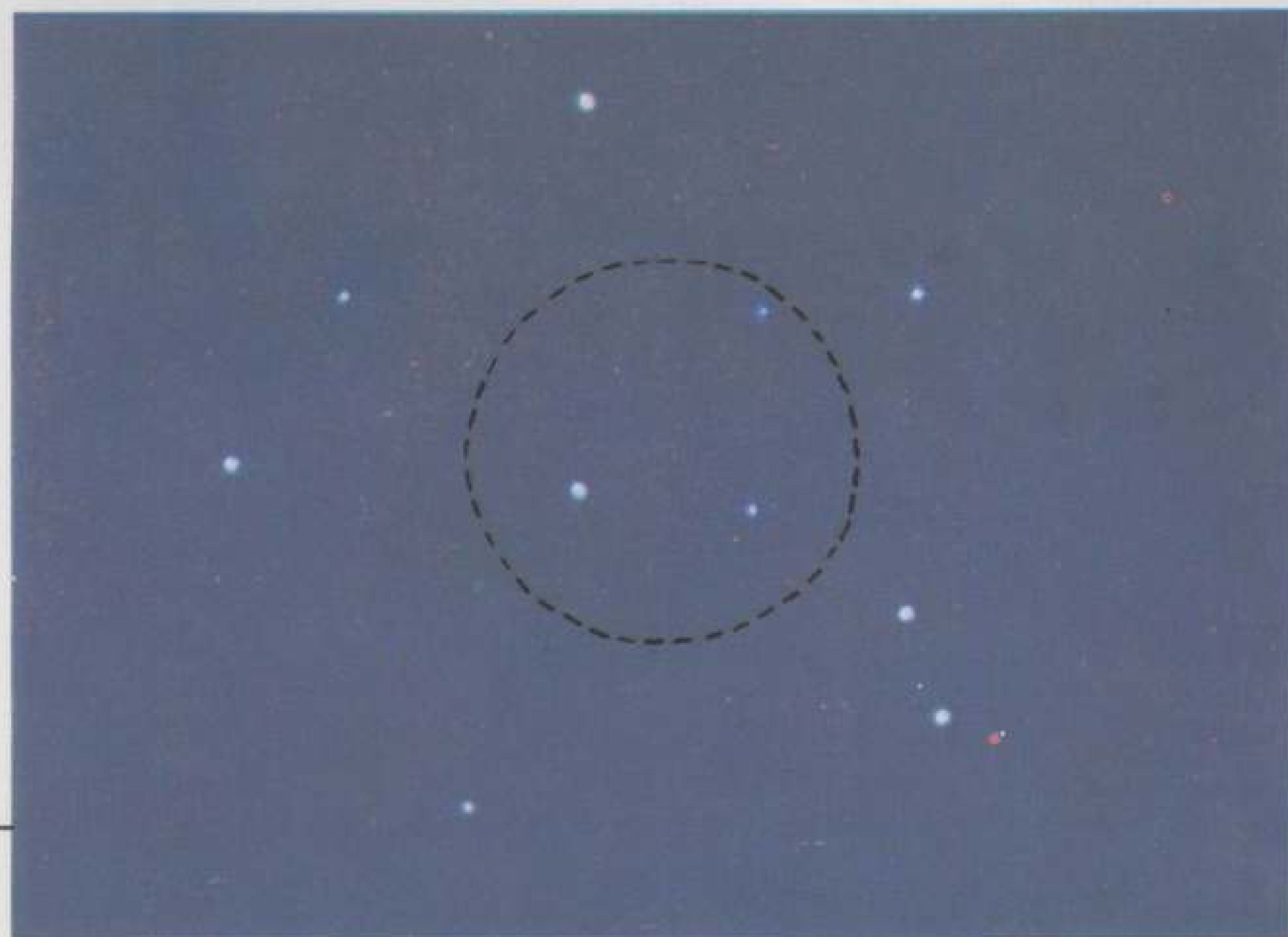
Entre las diversas pruebas que han confirmado la Teoría de la Relatividad, una de las más interesantes la constituye el desplazamiento del perihelio de Mercurio (dibujo superior de la página siguiente). En la órbita elíptica de un planeta, la línea de los ápsides (que une el afelio con el perihelio) representa el eje mayor de la elipse. Si en un espacio perfectamente euclídeo un solo planeta girase alrededor del Sol, su línea de los ápsides apuntaría siempre en la misma dirección (es decir, siempre hacia la misma estrella fija); sin embargo, en las órbitas de todos los planetas, y en la de Mercurio en particular, la línea de los ápsides en realidad, avanza como indica la flecha del esquema; de este modo el planeta describe una trayectoria abierta, llamada roseta. El avance de la línea de los ápsides, en el caso de Mercurio, es de 574 segundos por siglo. Ya en el siglo XVIII los astrónomos habían calculado que 531 segundos eran debidos a la perturbación de los planetas exteriores. Sin embargo, con las teorías clásicas no era posible explicar los restantes 43 segundos. La Teoría de la Relatividad, basándose en la hipótesis de que en las proximidades del Sol, donde se encuentra Mercurio, el espacio no es euclídeo, sino curvo, permite interpretar el desplazamiento de esta línea como un efecto de la curvatura experimentada por las coordenadas espaciales.

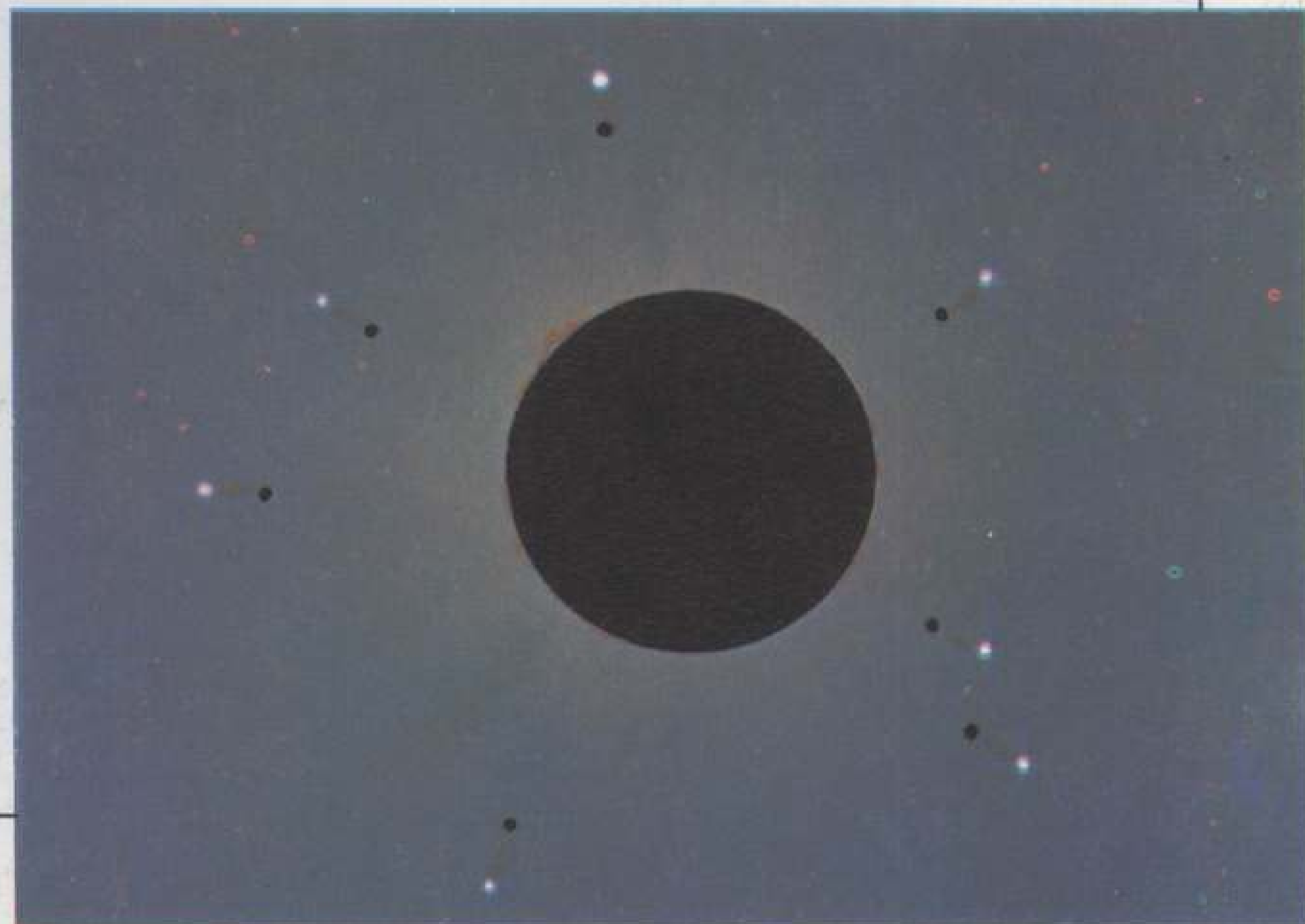


Otra evidencia de la relatividad la constituye el desplazamiento hacia el rojo, o *red shift* gravitacional. Durante el proceso de huida del campo gravitacional creado por un objeto de gran masa, la radiación pierde parte de su energía. Esta pérdida de energía se traduce en una disminución de la frecuencia. El *red shift* gravitacional no es un efecto muy marcado: sólo los objetos de gran masa y densidad son capaces de inducir un desplazamiento espacial apreciable; sin embargo, se han podido realizar experimentos desde la Tierra que han confirmado dicha disminución en la frecuencia de la radiación. En otro orden de cosas, el reflector láser abandonado en la superficie de la Luna en 1969 por Edwin Aldrin, durante la misión del Apolo XI, ha permitido medir la distancia Tierra-Luna, calculando el tiempo empleado por un rayo láser en recorrer la distancia de ida y vuelta. Estas medidas han suministrado también una posterior confirmación de la Teoría de la Relatividad. El sistema de medición resulta, en esencia, bastante sencillo: un telescopio en la Tierra envía un rayo láser hacia la Luna; el rayo alcanza el reflector y vuelve hacia la Tierra, donde es detectado por el mismo telescopio que lo había emitido. La medida del tiempo transcurrido entre el lanzamiento y la recepción ha permitido no sólo deducir la distancia del satélite con un error de pocos centímetros, sino que ha legitimado las previsiones de la Teoría General de Relatividad, según las cuales la masa del Sol induce una determinada curvatura en la región del continuo espacio-tiempo donde se mueve el sistema Tierra-Luna; en particular, este sistema no experimenta las pequeñas modificaciones previstas por una teoría elaborada por Robert N. Dicke y Carl H. Braus, formulada como alternativa a la propia Relatividad General. Dicke había planteado la hipótesis de que existían ligeras variaciones en el camino de la Luna alrededor de la Tierra, de forma que la Luna habría debido caer hacia el Sol más rápidamente que la Tierra. En este caso, la órbita de la Luna habría debido desviarse algunos metros.

La Teoría de la Relatividad General permite explicar también otro importante fenómeno: los rayos luminosos, al pasar cerca de un objeto de gran masa, experimentan una deflexión de su trayectoria (dibujo bajo estas líneas). Dicha deflexión será tanto mayor cuanto mayor sea la masa del objeto. En el caso del campo gravitacional ejercido por un astro como el Sol, dicha deflexión es relativamente pequeña, aunque, sin embargo, debería ser suficiente como para poder ser observable. El esquema de arriba muestra el paso de un rayo luminoso en las cercanías del Sol, y el modo en que es deflectado. De acuerdo con los cálculos de Einstein, la deflexión debe corresponder a un desplazamiento, con respecto a una estrella fija sobre la bóveda celeste, igual a un segundo y sesenta y cinco centésimas para un rayo que roce exactamente el disco solar. La verificación de estos cálculos, que suponían una importante confirmación de las predicciones relativistas, tuvo lugar en 1919, con ocasión de un eclipse total de Sol (entre los científicos que más intensamente colaboraron en el experimento cabe destacar al astrónomo inglés A. S. Eddington). Se fotografiaron las estrellas que se proyectaban alrededor del Sol durante la fase de eclipse total (fotografía de abajo, a la derecha), para comparar su posición con la que ocupaban cuando el Sol estaba lejos de ellas (fotografía de la parte inferior, a la izquierda). Se descubrió que para todas las estrellas fotografiadas cerca del Sol, teniendo en cuenta todas las posibles causas de perturbación, el desplazamiento era exactamente el previsto por la Teoría de la Relatividad. Después de 1919, prácticamente todos los eclipses se han constituido en un banco de pruebas destinado a verificar si los rayos luminosos son verdaderamente deflectados al pasar por las proximidades de cuerpos de gran masa. Más recientemente, se han efectuado otros experimentos, basados en fuentes de rayos cósmicos, cuyas radiaciones rozan el Sol. Los resultados de todos estos experimentos han confirmado rotundamente las previsiones realizadas en su momento por Einstein.







Relatividad Restringida ($E=mc^2$)

En 1905, Albert Einstein publicó en una revista científica un breve artículo en el cual llegaba a la conclusión de que masa y energía eran magnitudes equivalentes, relacionadas entre sí mediante la ecuación $E=mc^2$, en la que E es la cantidad de energía que corresponde a una masa m y c es la velocidad de la luz (expresando las tres magnitudes en el mismo sistema de unidades, por ejemplo, m en gramos, c en cm/s ($c = 3 \times 10^{10}$ cm/s) y E en ergios). Acababa sugiriendo que una prueba experimental de dicha ecuación habría de hallarse examinando el comportamiento de sustancias radiactivas, como por ejemplo el radio.

Sin embargo, Einstein no estaba completamente seguro de lo que proponía. Estaba convencido de la exactitud de su razonamiento, pero dudaba por el tremendo alcance de las conclusiones a las que había llegado. Algunas semanas después de publicar sus ideas, en una carta a un amigo, escribía lo siguiente: "La línea de mi pensamiento es sin duda fascinante e incluso divertida, pero no estoy seguro de que el Señor no se esté riendo de mí y me haya gastado una broma." Aún cinco años más tarde, en 1910, Einstein escribía: "por el momento no hay esperanza alguna" de comprobar de forma experimental los resultados teóricos.

Hubo que esperar hasta el año 1939 para que un proceso de fisión nuclear confirmara las conclusiones a las que había llegado Einstein. Sólo seis años después, el 6 de agosto de 1945, la casi total destrucción de la ciudad japonesa de Hiroshima, con una sola bomba basada en una reacción nuclear en cadena, se convertiría en la prueba definitiva de la validez de la fórmula de Einstein.

Masa y energía Hasta el siglo XX, los científicos habían considerado la masa y la energía como dos conceptos completamente separados e independientes. La experiencia cotidiana parece confirmar plenamente esta idea: la energía empleada en lanzar una pelota de tenis no parece hacerla aumentar de tamaño lo más mínimo. La energía y la masa parecen ser dos cosas completamente diferentes entre sí, si bien en los últimos tiempos un gran número de hechos revelan que ambas magnitudes son equivalentes y están sujetas a leyes naturales parecidas, aunque, en cualquier caso, no iguales.

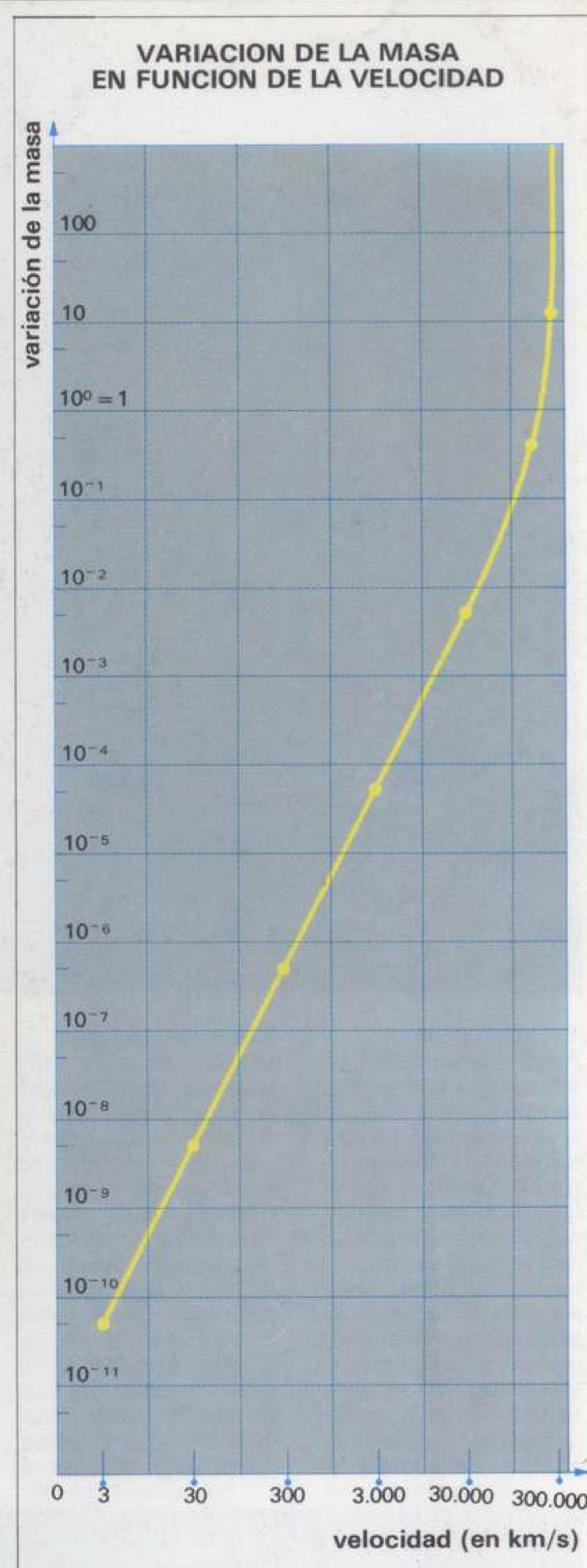
De acuerdo con la ley clásica de conservación de la masa, la cantidad total de masa en un sistema cerrado (un sistema completamente aislado del exterior y que, por lo tanto, no puede perder ni ganar nada) queda inalterada ocurra lo que ocurra en el interior del sistema. Aunque la pelota de tenis se parta en dos, veinte o mil pedazos, la suma de la masa de todos ellos sigue siendo igual a la masa original.



Bajo estas líneas, los restos de una supernova, la nebulosa del Cangrejo, en la constelación del Toro. La enorme energía que ha sido liberada durante la explosión de la estrella supernova corresponde a la masa que se ha desintegrado. Si se transformase en energía una masa de un gramo, más o menos equivalente a la masa de un cigarrillo, produciría 25 millones de kilowatios hora. Una cantidad equivalente de energía se puede liberar a partir de la fisión de 1 kg de uranio-235 o a partir de la combustión de 3.000 toneladas de carbón.



La masa de un gramo de materia completamente transformada en energía produciría, según la fórmula $E = mc^2$, la misma cantidad de energía que la obtenida por fisión nuclear, a partir de 1 kg de uranio y, por combustión, de 3.000 toneladas de carbón.



Lo mismo valía también para la ley de conservación de la energía. La energía puede presentarse bajo diferentes formas, pero cuando una de ellas se transforma en otra —por ejemplo, el calor en electricidad— la cantidad total de energía queda inalterada. Las dos leyes expuestas son *leyes de conservación*, dado que afirman que, en un sistema cerrado, la cantidad total de algunas magnitudes —masa o energía— permanece invariable.

Masa-energía Con la publicación, en 1905, de la Teoría de la Relatividad Restringida, Einstein se convirtió en iniciador del fulgurante impulso que ha tomado la Física en el siglo XX. Desterrando el concepto clásico de la propagación instantánea de la energía a distancia, es decir, fijando la invariabilidad de la velocidad de la luz (c) con independencia del sistema de referencia utilizado, la Teoría de la Relatividad consiguió demostrar que el espacio y el tiempo no eran conceptos absolutos,

como propugnaba la Física clásica, sino conceptos íntimamente ligados entre sí en lo que Einstein denominó el "continuo espacio-tiempo". Igualmente, la relatividad desterraba el concepto de masa absoluta y la materia como concepto específico. La noción de tiempo relativo llevaba asociada una nueva dinámica de masas variables. Como posteriormente se demostraría tras numerosos experimentos, la masa de un cuerpo variaba proporcionalmente con su velocidad, de forma que si m_o era la masa en reposo de dicho cuerpo en un sistema determinado, su masa a una velocidad v, respecto al mismo sistema, venía dada por la fórmula:

$$m=m_o\sqrt{1-v^2/c^2}$$

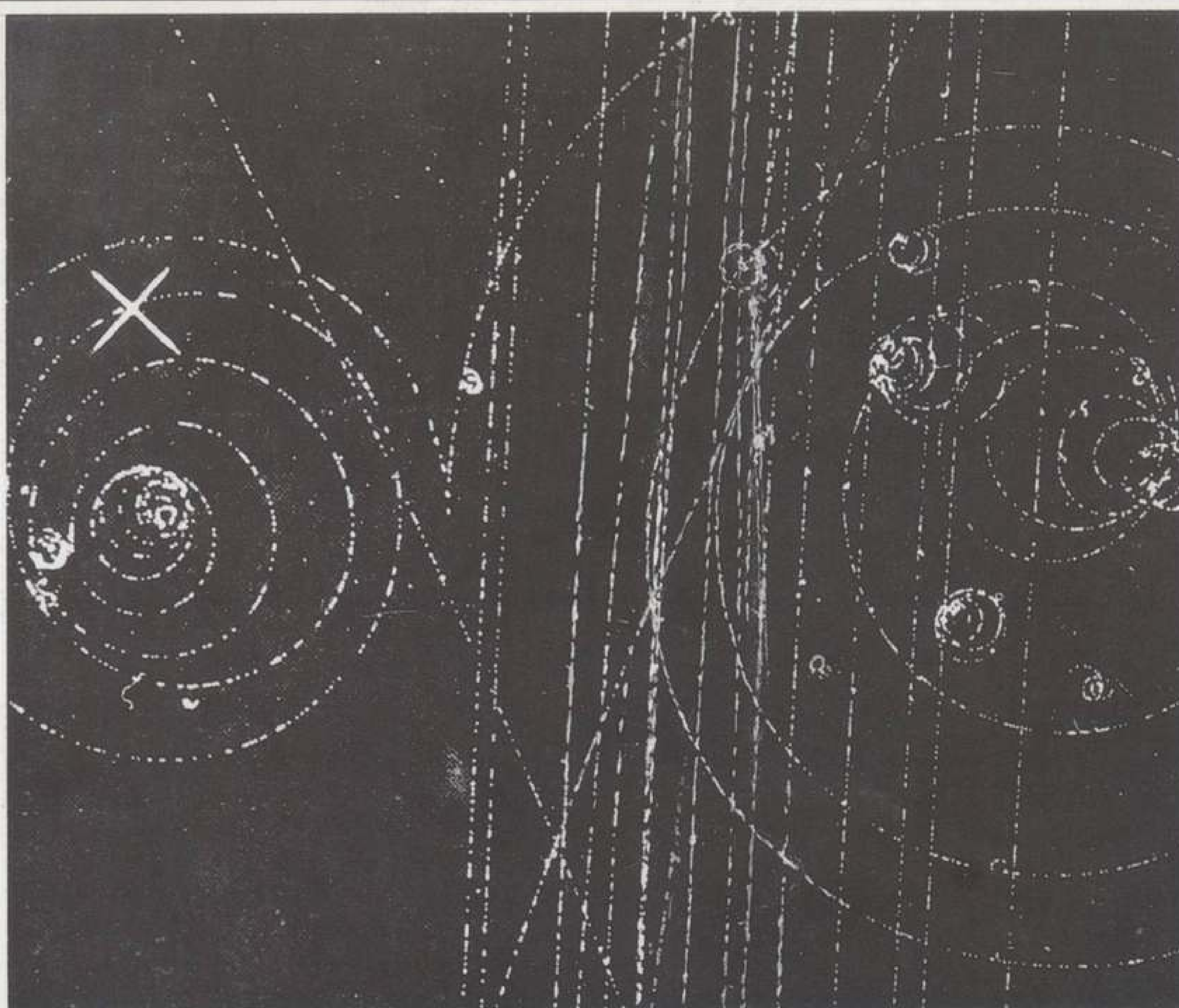
Numerosos fenómenos confirmaron experimentalmente la veracidad de esta teoría:

- Los electrones emitidos durante la descarga eléctrica en un tubo de alto vacío manifestaban una masa progresivamente mayor al aumentar la diferencia de potencial entre las placas o, lo que es igual, su velocidad. Así, aplicando 100.000 voltios a la ampolla, la velocidad v de los electrones alcanzaba los 165.000 km/s y su masa (medida indirectamente a partir de las desviaciones que éstos experimentaban en el interior de un campo magnético conocido) aumentaba en un 15%.
- Los electrones (rayos β) emitidos en el curso de transformaciones radiactivas espontáneas alcanzan velocidades próximas a la de la luz. Las fotografías de las trayectorias seguidas por estos electrones (tomadas en cámaras especiales de detección de partículas, como la de Wilson) muestran que en los choques se comportan como partículas de masa varias veces superior a la de reposo.
- También los efectos fotoeléctrico y Compton ofrecen una notable confirmación de esta consecuencia relativista.

Todos esos hechos revelan, además, que la energía de movimiento posee masa, o, con mayor generalidad, la relatividad demuestra que toda energía tiene masa, en particular la energía radiante (calor, luz, ondas hertzianas). Cuando un cuerpo irradia calor o luz, su masa disminuye en función de la energía que pierde; recíprocamente, un cuerpo es más pesado cuanto más caliente está. La Física clásica sólo concebía masas invariables, aunque es probable que la inexactitud de esa concepción se habría descubierto antes si las variaciones de masa no fueran tan pequeñas. La masa aparece en la relatividad como la inercia de una cierta cantidad de energía. Toda masa (m) representa una energía: $E=mc^2$, y toda energía E posee una masa $m=E/c^2$. De acuerdo con la fórmula que expresa la masa de un cuerpo en movimiento, la energía de dicho cuerpo es:

$$E=m_oc/\sqrt{1-v^2/c^2}$$

donde m_o es la masa en reposo del cuerpo y corresponde a la inercia de su energía interna. La nueva equivalencia entre masa y energía permite formular un nuevo principio de conservación. Si en un sistema cerrado tiene lugar una transformación de masa en energía o viceversa, la disminución de una de ellas se compensa por el correspondiente aumento de la otra. Esta relación se conoce como *ley de conservación de la masa-energía*, y este último término se refiere a una nueva magnitud que permanece siempre invariable.



El diagrama de la izquierda muestra el aumento que experimenta la masa de un objeto a medida que aumenta su velocidad. Sobre estas líneas puede observarse un interesante ejemplo de formación de un par electrón-positrón a partir de un fotón de alta energía. Cada una de las trayectorias espirales corresponde a una de las partículas generadas. Su simetría responde al hecho de que las partículas tienen carga con signo opuesto y, en este caso, con energías similares. El fotograma se ha obtenido en una cámara de niebla de hidrógeno líquido en presencia de un campo magnético.

De masa a energía y de energía a masa

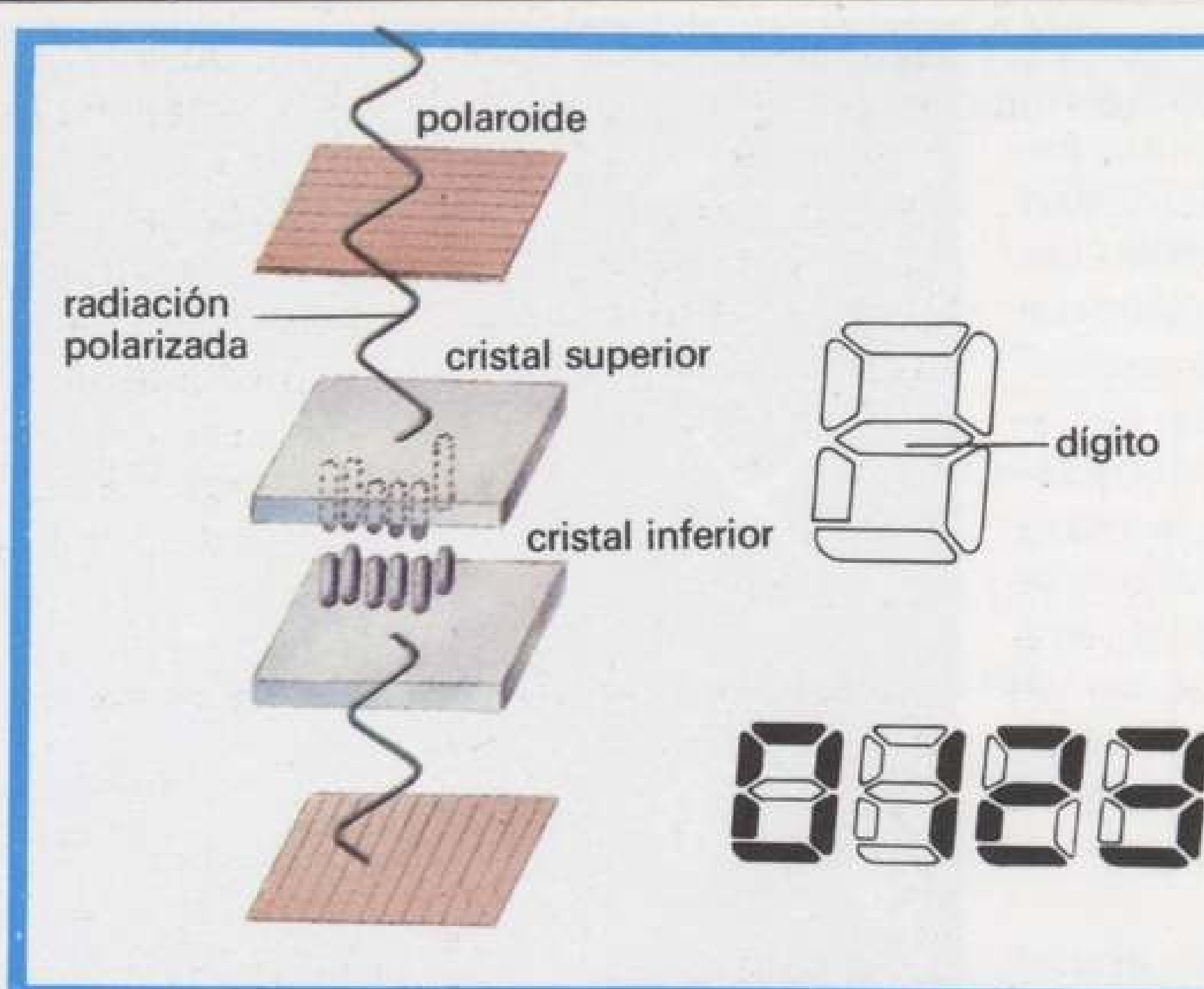
La equivalencia entre masa y energía, como formas o aspectos de una misma cosa, ha permitido a los científicos la comprensión de fenómenos tan espectaculares como la fusión y la fisión nuclear, lo que a su vez ha permitido establecer sólidas teorías sobre fenómenos tan enigmáticos como el origen de la enorme energía irradiada por las estrellas. En efecto, hoy sabemos que la mayor parte de la energía estelar proviene de la transformación de una cierta cantidad de materia en radiación, proceso que tiene lugar como consecuencia de las reacciones de fusión nuclear en cadena que tienen lugar en el interior de la estrella. Entre estas reacciones destaca la conversión del hidrógeno (H^1) en helio (He^4). El proceso de unificación de 4 átomos de hidrógeno para formar un átomo de helio tiene lugar según varias etapas, aunque una de ellas, en particular, posee un especial interés por ser un ejemplo sencillo acerca de la equivalencia entre masa y energía irradiada en forma de fotones: se trata de la reacción $P+D \rightarrow He^3+\gamma$ en la que un protón se fusiona con un deuterón, dando lugar a un sistema compuesto (He^3) por dos protones y un neutrón. De acuerdo con las medidas de las masas, realizadas mediante un espectrómetro, la suma de las masas de P y de D es superior a la masa de He^3, de forma que sólo cabe interpretar que este exceso de masa se ha convertido en la energía transportada por un fotón (un rayo γ), como indica la ecuación. Análogamente, también la fisión nuclear constituye un claro ejemplo de fenómeno en el que una cantidad de masa se transforma en energía. Así, al bombardear el núcleo de un átomo de uranio-235 (un isótopo del uranio natural) con un neutrón ultrarrápido, el primero queda excitado y sujeto a fuertes oscilaciones hasta que, en un momento dado, se divide en otros dos núcleos de tamaño intermedio, emitiendo además neutrones y radiación gamma altamente energética. El motivo por el que esta fisión libera energía es porque el núcleo de uranio tiene una masa superior a la suma de las masas de las partículas en que se divide (núcleos de calcio o de bario más algunos neutrones), y este exceso de masa se transforma en energía de acuerdo con la fórmula de Einstein $E=mc^2$.

Vease **Bomba atómica; Fisión nuclear; Fusión nuclear; Reacción nuclear; Relatividad, teoría general de la**

Reloj

El primer instrumento utilizado para medir el tiempo diario es un reloj de sol egipcio que data del año 1450 a. de C. Se trata de un artificio ideado para señalar las diversas horas del día a partir de la variación uniforme que experimenta la sombra proyectada por un gnomon o varilla sobre una escala.

Los primeros relojes mecánicos aparecieron en el siglo XIII, en Borgoña, donde un monje ideó un sistema mediante el cual cada hora era indicada por el toque de una campana.



Presentación numérica con cristales líquidos utilizada en los relojes digitales. Cada cifra está formada combinando siete líneas que pueden permanecer invisibles o bien oscurecerse mediante señales eléctricas. Una hoja polarizante tránsmite la luz a la capa de cristales líquidos colocados entre dos vidrios. Excitados por electricidad, éstos se disponen verticalmente impidiendo la reflexión de la luz: la línea aparece negra.

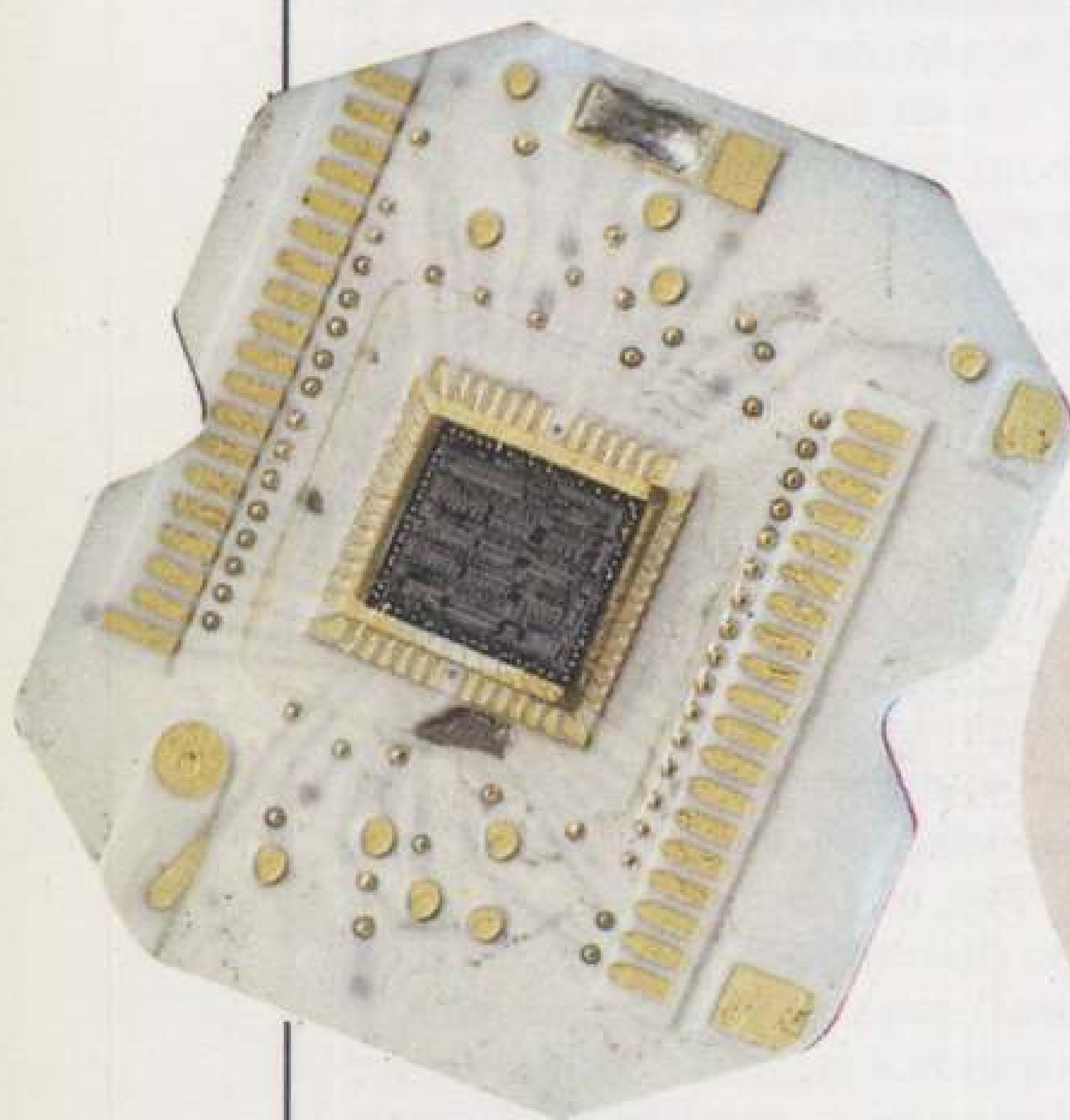
Mecanismos del reloj Un reloj consta de dos partes fundamentales: el mecanismo del movimiento, que mide el tiempo, indicándolo en la esfera, y suministra la energía para su funcionamiento, y la caja que aloja dicho mecanismo.

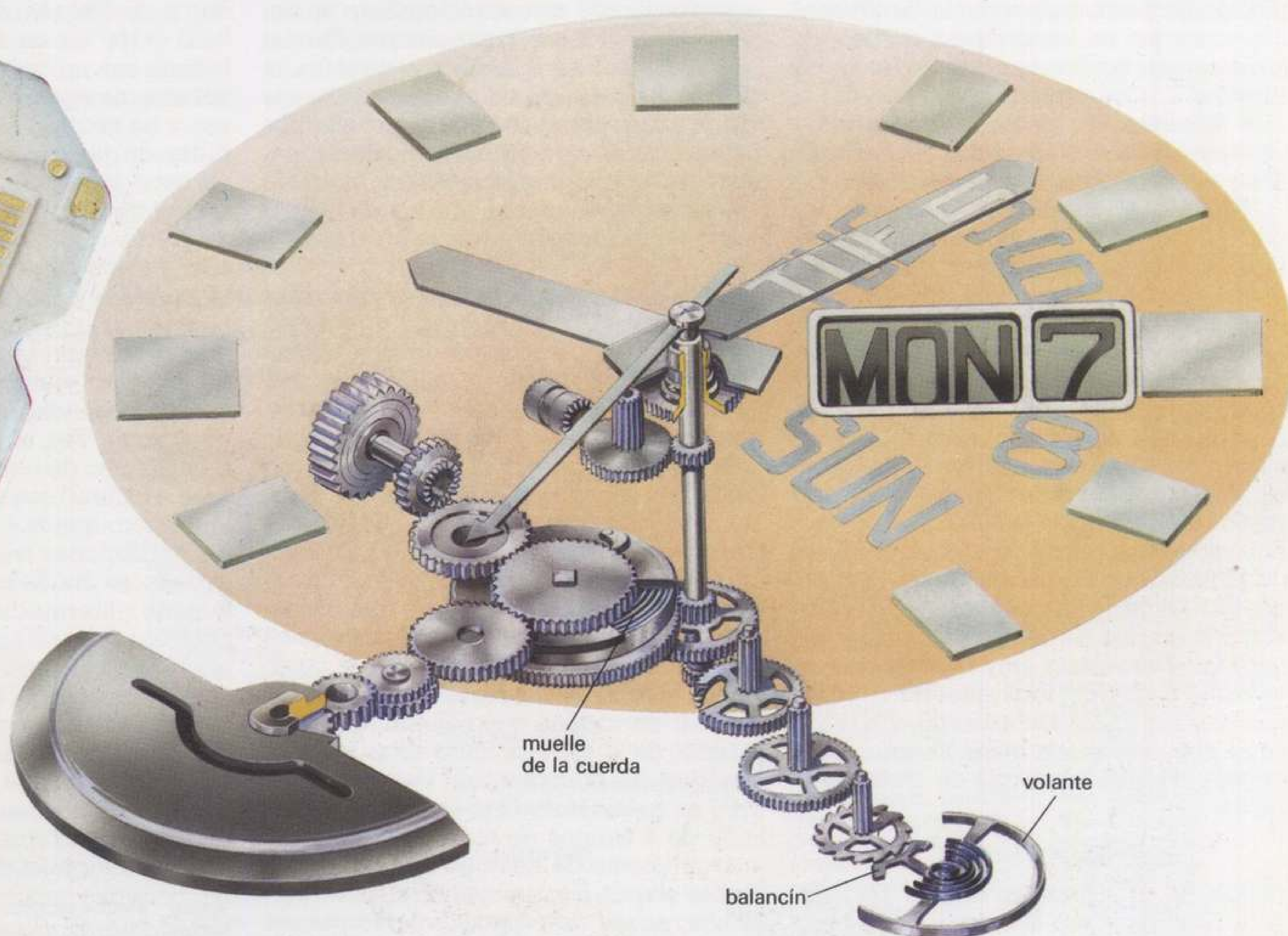
La división del tiempo es el resultado de una acción repetida a intervalos regulares. Los relojes mecánicos utilizan para ello la oscilación de un péndulo, de un volante, o bien las vibraciones de un diapasón. Un peso o un muelle producen el movimiento, que se regula con un péndulo o un volante, y se transmite a las manecillas por medio de un sistema de ruedas dentadas o tren horario. Este mide el número de oscilaciones, subdividiéndolas en horas, minutos y segundos, que son luego indicados en la esfera. La velocidad de trabajo del reloj está determinada por un regulador —mecanismo formado por un áncora y varios engranajes— conectado con el tren de engranajes que regula el movimiento de las agujas en la esfera.

Los relojes eléctricos utilizan la energía de pilas o directamente la de la red eléctrica en lugar de la energía almacenada en un muelle. La energía eléctrica determina el movimiento del diapasón, cuyas vibraciones constituyen la acción repetida destinada a medir el tiempo. Algunos relojes eléctricos se basan en las propiedades piezoeléctricas de un cristal de cuarzo. Dichos cristales vibran a una frecuencia específica cuando se les coloca en un circuito de corriente alterna. Algunos relojes de pilas utilizan un mecanismo para transformar las vibraciones del cristal de cuarzo en oscilaciones mecánicas aptas para que el tren horario las subdivida en horas, minutos y segundos. Otros utilizan un circuito eléctrico que directamente transforma las vibraciones en informaciones que aparecen sobre una pantalla. Los relojes eléctricos alimentados por red tienen un motor "sincrónico" que oscila con la corriente alterna de ésta. Los de péndulo utilizan un electroimán para hacer oscilar el péndulo regularmente.

Frente al clásico reloj de esfera con manecillas, de lectura analógica, cada vez está más extendido el uso de relojes de lectura digital. Los números pueden correr sobre un tambor rotante o sobre una cinta en movimiento, o bien estar formados por cristales líquidos, que reflejan la luz, o por diodos electrónicos que la emiten.

Relojes de pulsera Los relojes de pulsera funcionan según el mismo principio





A la derecha, esquema de un reloj con sus órganos mecánicos. El mecanismo de cuerda automática envuelve el muelle, que constituye la fuente de energía. Las agujas son fijadas directamente a la envoltura del muelle y su movimiento es regulado por el balancín y el volante. Sobre estas líneas, un circuito impreso que cumple las mismas funciones y con mayor precisión.

de los demás relojes. Sin embargo, algunos de los componentes son distintos con el fin de adaptarse mejor a las reducidas dimensiones de la caja. Una fuente de energía constituida por una pesa es impensable en un reloj de pulsera, donde la energía está almacenada en un muelle principal que se desenrolla —regulado por el volante— lentamente, poniendo así en movimiento el tren de engranajes.

Una buena parte de la energía generada por el mecanismo de movimiento del reloj es absorbida por el rozamiento de sus órganos mecánicos. A menudo, el balancín, que regula el movimiento del volante para que se mueva con una frecuencia determinada bajo el impulso que procede del muelle, utiliza soportes construidos con piedras preciosas, como rubíes naturales o sintéticos, que reducen sensiblemente los efectos del rozamiento.

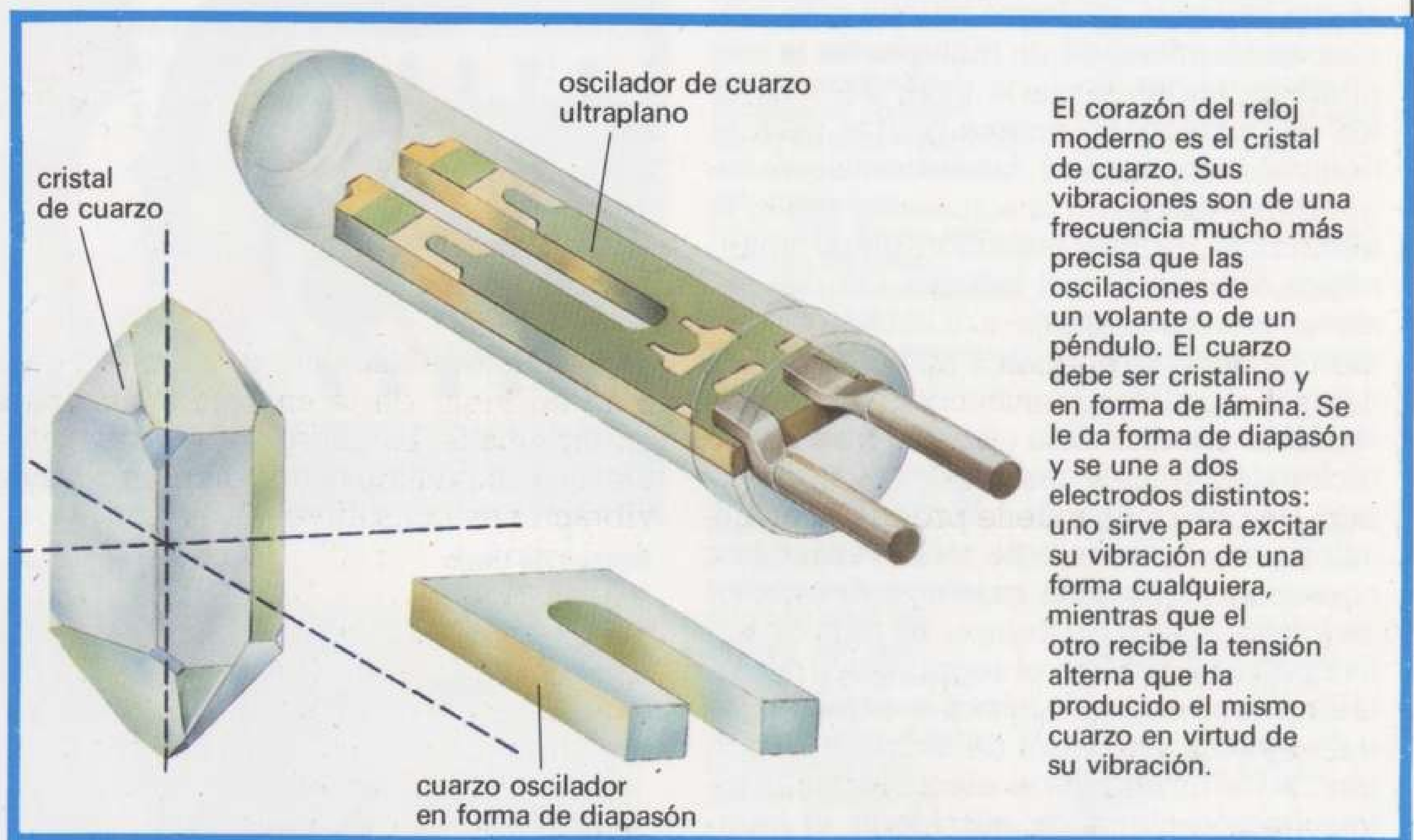
En el caso de los relojes de pulsera de cuarzo existen circuitos electrónicos integrados que transforman las vibraciones del cristal en impulsos eléctricos que activan el pequeño motor encargado de comunicar a las agujas un movimiento uniforme, con la velocidad apropiada. Estos circuitos están impresos sobre una pequeña pieza de silicona de dimensiones muy reducidas.

Caja Las cajas de los relojes de pulsera, de los de mesa o de los de pared pueden adoptar una gran variedad de formas y tamaños ya que, además de ser instrumentos para la medida del tiempo, se utilizan muy a menudo como objetos ornamentales. Los relojes de péndulo, los de cuco y los típicos relojes artesanales, como los dotados de figuritas esculpidas que danzan al son de un carillón, son sólo algunos ejemplos de relojes decorativos.

Los primeros relojes de pulsera, fabricados en el siglo XVI, eran bastante voluminosos (más de 13 centímetros de diámetro). Posteriormente se difundieron los relojes de bolsillo y los relojes de pulsera con las medidas actuales.

Los relojes, tanto de pulsera como de mesa, existen en el mercado según medidas y precios muy variados. Pueden disponer, además, de alarma o aparatos de radio, siendo utilizados también como despertadores. Algunos tipos más sofisticados van provistos de calendario, minicalculadora o termómetro.

Véase **Dispositivo analógico; Reloj atómico; Reloj de sol; Tiempo astronómico**



El corazón del reloj moderno es el cristal de cuarzo. Sus vibraciones son de una frecuencia mucho más precisa que las oscilaciones de un volante o de un péndulo. El cuarzo debe ser cristalino y en forma de lámina. Se le da forma de diapasón y se une a dos electrodos distintos: uno sirve para excitar su vibración de una forma cualquiera, mientras que el otro recibe la tensión alterna que ha producido el mismo cuarzo en virtud de su vibración.

circuito impreso sobre soporte flexible
circuito integrado
12:30 PM 28
pila
oscilador de cuarzo

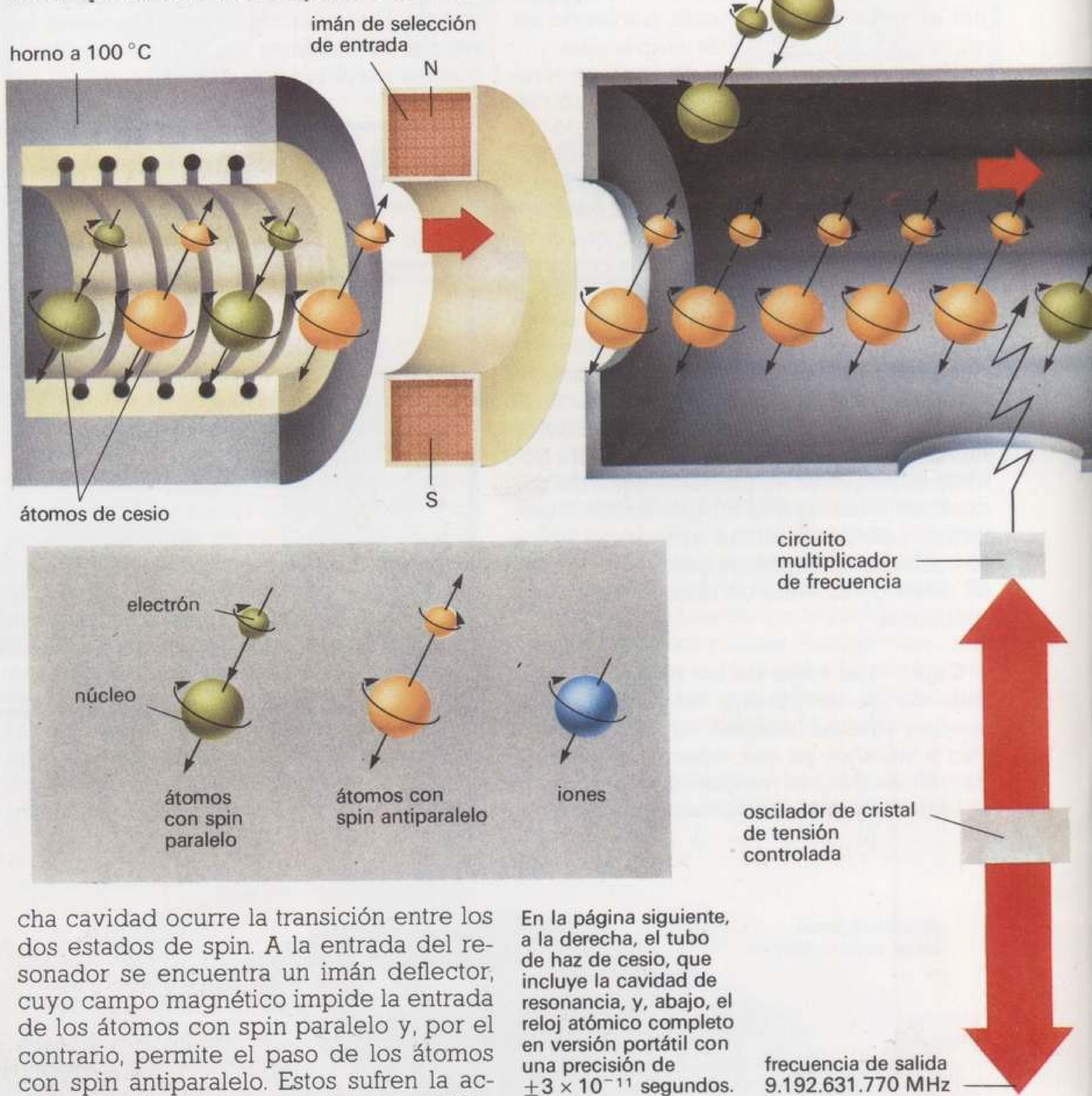
Sobre estas líneas, el circuito completo de un reloj de pulsera de cuarzo. Abajo sobresale la fuente de energía, la pila, que, generalmente, es del tipo de mercurio-plata. A su derecha vemos la envoltura del cuerpo y arriba el circuito integrado que cuenta las vibraciones del cuarzo, las divide para obtener las horas, minutos y segundos (además de los días) y genera señales para la excitación de las líneas de las cifras que se visualizan en el *display*.

Reloj atómico

Las modernas tecnologías exigen una precisión cada vez mayor en todo aquello que implique realizar una medida de algo. Longitud, masa, tiempo se definen en unidades de medida de valor universal, estableciéndose ese valor con el máximo rigor y la mayor precisión posibles. Así, por ejemplo, la unidad de medida de longitud, el metro, que antes se definía como la longitud de una barra de platino-iridio conservada en el Museo de Pesas y Medidas de Sèvres, cerca de París, se define ahora, de forma mucho más precisa, en términos de un múltiplo de la longitud de onda de cierta línea del espectro del kriptón. Lo mismo ocurre para el tiempo, cuya unidad fundamental, el segundo, se define en la actualidad según la frecuencia de una radiación electromagnética emitida por el isótopo 133 del cesio y correspondiente a 9.192.631.770 ciclos. Si para las normales actividades cotidianas es más que suficiente una medida del tiempo como la ofrecida por los tradicionales relojes mecánicos o, todo lo más, por los relojes de cuarzo, en muchos campos de la tecnología más avanzada se necesita una medida mucho más precisa de los intervalos de tiempo. Se trata de actividades tales como el seguimiento de satélites, la navegación aérea, la exploración del espacio, el control de algunas funciones de los ordenadores electrónicos, la investigación científica, etc. Medir el tiempo significa disponer de una unidad que se repite indefinidamente de forma absolutamente constante, correspondiente por lo tanto a la continua y uniforme repetición de un fenómeno que se toma como referencia absoluta. Es, pues, evidente la necesidad de referirse a fenómenos que aseguran esta casi absoluta constancia, como ocurre en el caso de los fenómenos que se verifican a nivel atómico.

Cada electrón posee un *spin*, es decir, un momento angular o momento de rotación intrínseco del electrón. Como todo momento angular, el spin tiene carácter vectorial y se representa mediante un vector orientado en la dirección perpendicular al plano de rotación del electrón. La característica fundamental del spin del electrón es que sólo puede tomar dos orientaciones respecto a un campo magnético externo: paralela o antiparalela. Esta característica es particularmente medible en aquellos átomos que poseen un solo electrón en su órbita más exterior, como el hidrógeno o los metales alcalinos rubidio y cesio. A cada estado de spin paralelo o antiparalelo corresponden dos estados energéticos diferenciados, cuya constancia, superior a la de cualquier otro fenómeno en la Naturaleza, no es alterada por la temperatura, la presión o la gravedad. De esta forma, es posible asumir la diferencia de energía entre los dos estados de spin como una unidad de medida de un intervalo que se repite de manera absolutamente uniforme. Bajo este principio han sido construidos los relojes atómicos, que en su mayor parte utilizan átomos de rubidio o de cesio.

Reloj de cesio El cesio es calentado, hasta alcanzar los 100 °C, en un horno eléctrico dispuesto en el interior de un tubo en el cual se ha hecho el vacío. El flujo de átomos de cesio es posteriormente dirigido hacia el interior de la cavidad de resonancia, que constituye el elemento más importante de un reloj atómico. En dicha cavidad ocurre la transición entre los dos estados de spin. A la entrada del resonador se encuentra un imán deflector, cuyo campo magnético impide la entrada de los átomos con spin paralelo y, por el contrario, permite el paso de los átomos con spin antiparalelo. Estos sufren la acción de ondas electromagnéticas emitidas con una frecuencia muy cercana a la de 9.192.631.770 MHz (millones de ciclos por segundo), prevista para el cesio por un oscilador de cristal a tensión variable.



En la página siguiente, a la derecha, el tubo de haz de cesio, que incluye la cavidad de resonancia, y, abajo, el reloj atómico completo en versión portátil con una precisión de $\pm 3 \times 10^{-11}$ segundos.

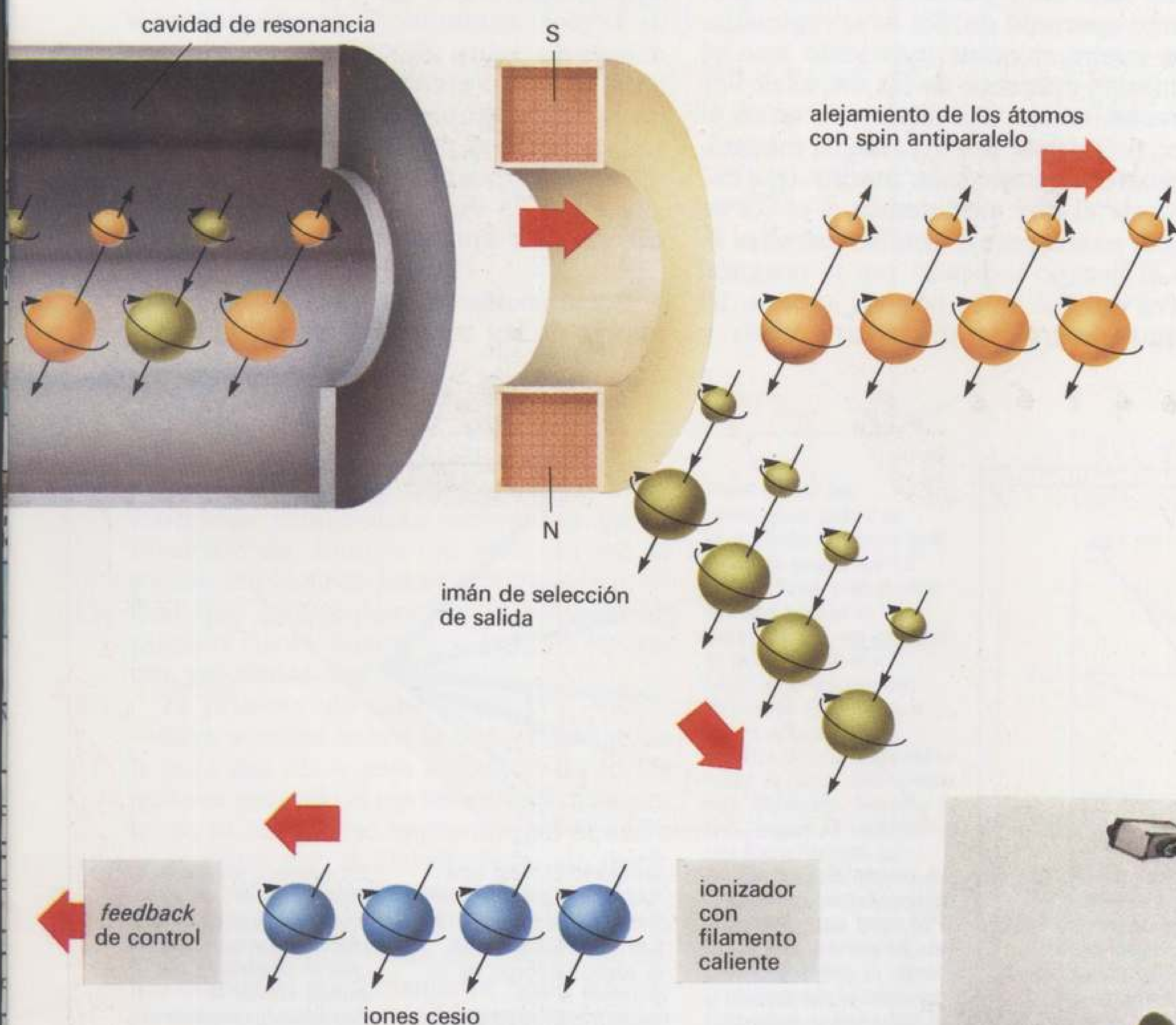
La energía de las ondas electromagnéticas transforma parte de los átomos con spin antiparalelo en átomos con spin paralelo, es decir, modifica el estado energético de éstos: la diferencia de energía entre los dos estados de spin del átomo de cesio corresponde, en términos de frecuencia electromagnética, al valor anteriormente citado. En este momento, un segundo imán situado a la salida de la cámara de resonancia realiza la operación opuesta, alejando los átomos de spin antiparalelo y deflectando los átomos de spin paralelo hacia una cámara de ionización por filamento en caliente.

De esta manera son producidos iones de cesio que vuelven a alimentar, mediante un recorrido de *feedback*, el oscilador de cristal, emisor de la onda electromagnética. La frecuencia de la onda emitida es, de esta forma, "sintonizada" en la frecuencia de transición energética de los átomos de cesio, suministrando una cantidad rigurosamente uniforme que puede tomarse como unidad de tiempo patrón. De esta manera, la unidad de tiempo atómico es el segundo atómico, que se define como la duración de 9.192.631.770 períodos de la radiación correspondiente a la transición entre los dos niveles hiperfinos del estado fundamental del átomo de cesio 133.

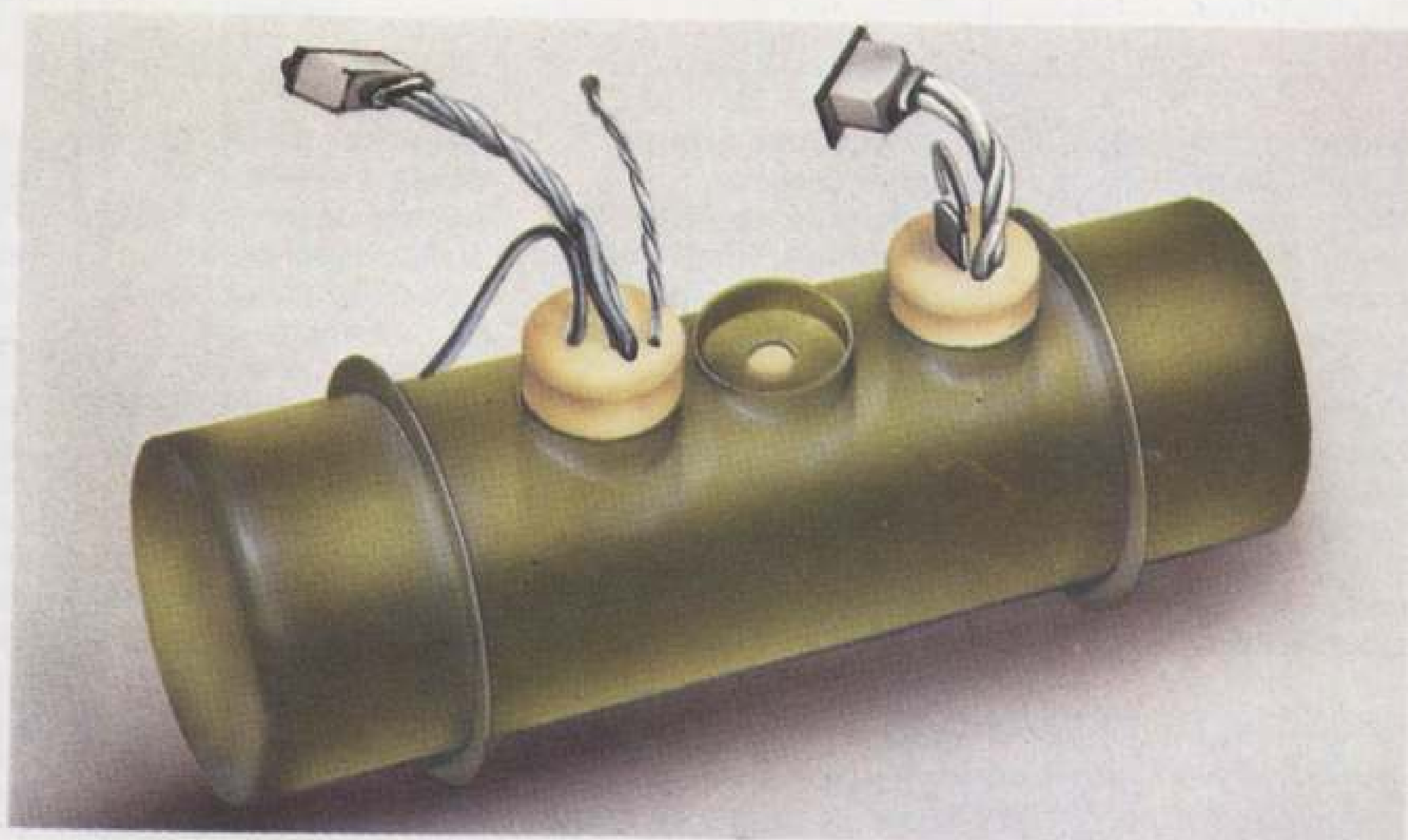
Mediante especiales amplificadores y circuitos electrónicos, esta frecuencia sirve como referencia para un reloj de cuarzo, que, finalmente, muestra de forma analógica sobre un cuadrante o, más a menudo, de forma digital sobre una pantalla de diodos LED, el exacto transcurrir del tiempo. Se puede entonces decir que un reloj atómico no es tanto un medidor de tiempo como un instrumento de control, que guía a otros medidores en la partición de intervalos rigurosamente iguales.

Relojes atómicos portátiles El primer reloj atómico que se construyó tenía una precisión de aproximadamente un segundo cada cien años, es decir, su error era más o menos de un segundo después de un siglo de funcionamiento. Los primeros relojes atómicos eran más bien pesados y no portátiles ya que el tubo que contenía la cavidad de resonancia debía ser orientado de manera fija y exacta en dirección este-oeste con objeto de eliminar todo efecto del campo magnético terrestre, cuya dirección, como todos sabemos, es norte-sur.

Los relojes atómicos actuales son portátiles y su peso no supera los 30-40 kilogramos. Su aspecto externo recuerda al de un amplificador de potencia para señales audio de alta fidelidad, con la única diferencia de la presencia de un *display* numérico que señala el regular transcurso del tiempo. La exactitud de estos relojes es extraordinariamente grande, del orden de $\pm 3 \times 10^{-11}$ segundos, es decir, que el reloj atómico de cesio puede cometer un error, por exceso o por defecto, de un segundo cada 300.000 años de funcionamiento ininterrumpido. Un instrumento de tal precisión ha encontrado aplicación, por ejemplo, en la medida del efecto de la variación de la gravedad con el paso del tiempo, demostrando la dilación del mismo como consecuencia de la menor gravedad existente en el espacio con respecto a la superficie de la Tierra.



El comportamiento de algunos átomos con un solo electrón en la órbita externa, como ocurre con el cesio, el rubidio y el hidrógeno, es altamente previsible con las leyes de la Mecánica cuántica, según las cuales estos átomos existen en dos estados de spin: en uno, el eje del spin del electrón es paralelo al del núcleo del átomo, mientras que, en el otro, es antiparalelo. Estos dos estados también se conocen como estados hiperfinos del estado fundamental del isótopo de cesio-133. En un reloj atómico de cesio, algunos gramos de este elemento son calentados y penetran en forma de gas en una cavidad de resonancia. En estado gaseoso el cesio posee la misma cantidad de átomos con spin antiparalelo. A la entrada de la cavidad un imán aleja los átomos con spin paralelo y deja entrar únicamente los átomos con spin antiparalelo. En la cámara de resonancia dichos átomos son perturbados por las ondas de radio generadas por un oscilador de cristal a tensión controlada. El efecto de estas ondas consiste en modificar una cierta cantidad de los átomos presentes, que inviertem su spin de antiparalelo a paralelo. A la salida de la cavidad otro imán opera de forma opuesta al de entrada, alejando los átomos con spin antiparalelo y deflectando los de spin paralelo hacia un ionizador, cuyo filamento caliente produce una corriente de iones cesio. A través de un anillo de control de frecuencia, el flujo de iones vuelve al cristal oscilador, cuya frecuencia es, de esta manera, acoplada o sintonizada con la frecuencia de resonancia del estado de transición entre los dos estados de spin. Un detector lee la frecuencia de salida que, a través de un oscilador de cuarzo, alimenta una pantalla luminosa de lectura digital.





Véase **Atomo; Electrón; Reloj de sol; Tiempo astronómico**

Reloj de sol

El célebre dicho latino *tempus fugit*, "el tiempo vuela", puede darnos una idea de la característica ilusoria de ese concepto extraordinario y esencial que es el tiempo.

Cuando hoy pensamos en el tiempo, lo que nos viene inmediatamente a la mente son las horas, los minutos o los segundos, aunque esta concepción de la división del tiempo es bastante reciente en la historia de la civilización humana.

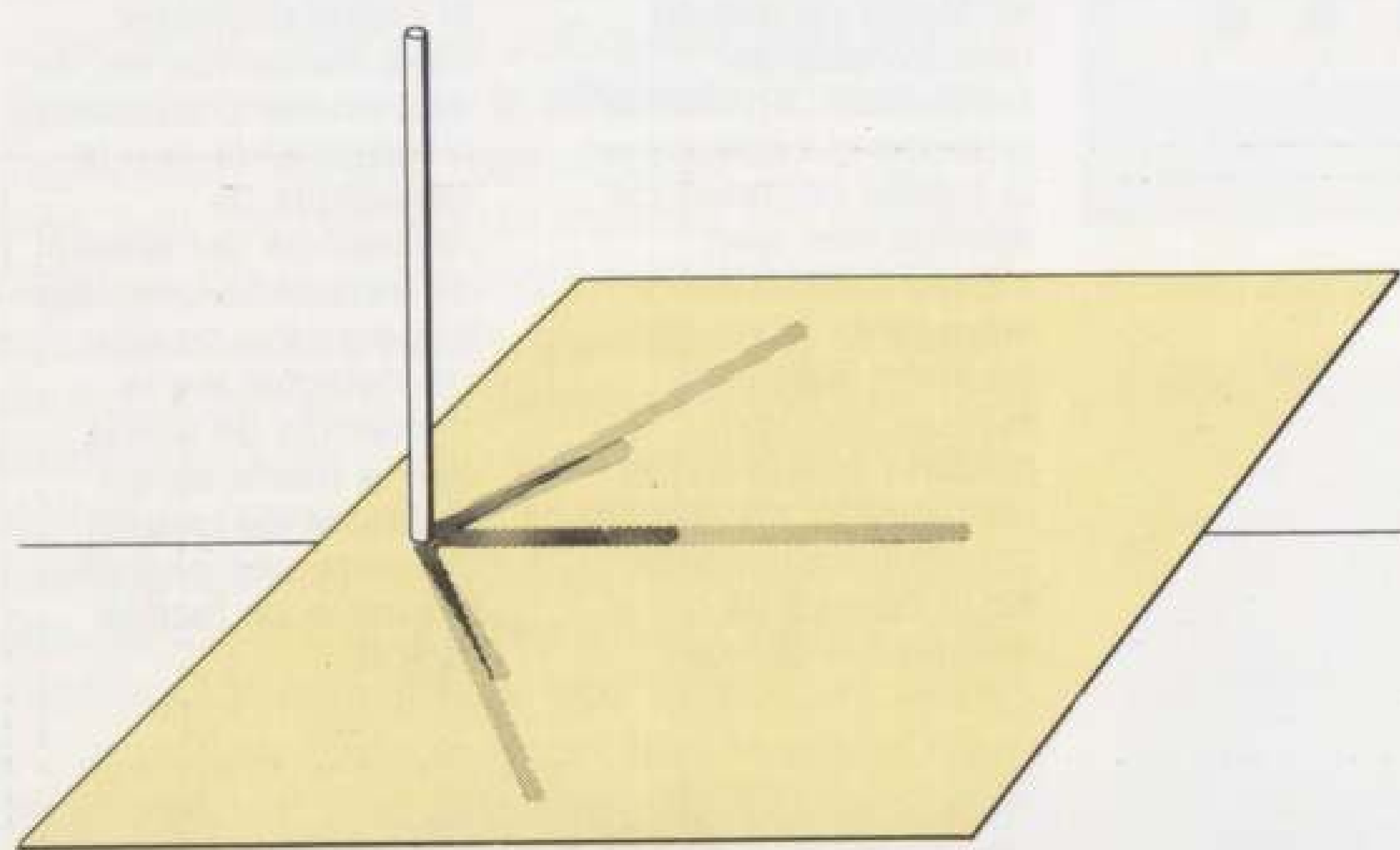
La concepción de la historia como secuencia de acontecimientos ordenados e irrepetibles también forma parte de nuestras concepciones modernas. La definición que Shakespeare da en *Las siete edades del hombre*, empezando por el lactante que gimotea en los brazos de la nodriza hasta llegar al viejo que nuevamente se acerca a la infancia, está mucho más cerca del concepto antiguo del tiempo. Indudablemente, el sentido de esta definición es cíclico, manteniendo que la vida se repite siguiendo un ciclo de nacimiento, muerte y renacimiento.

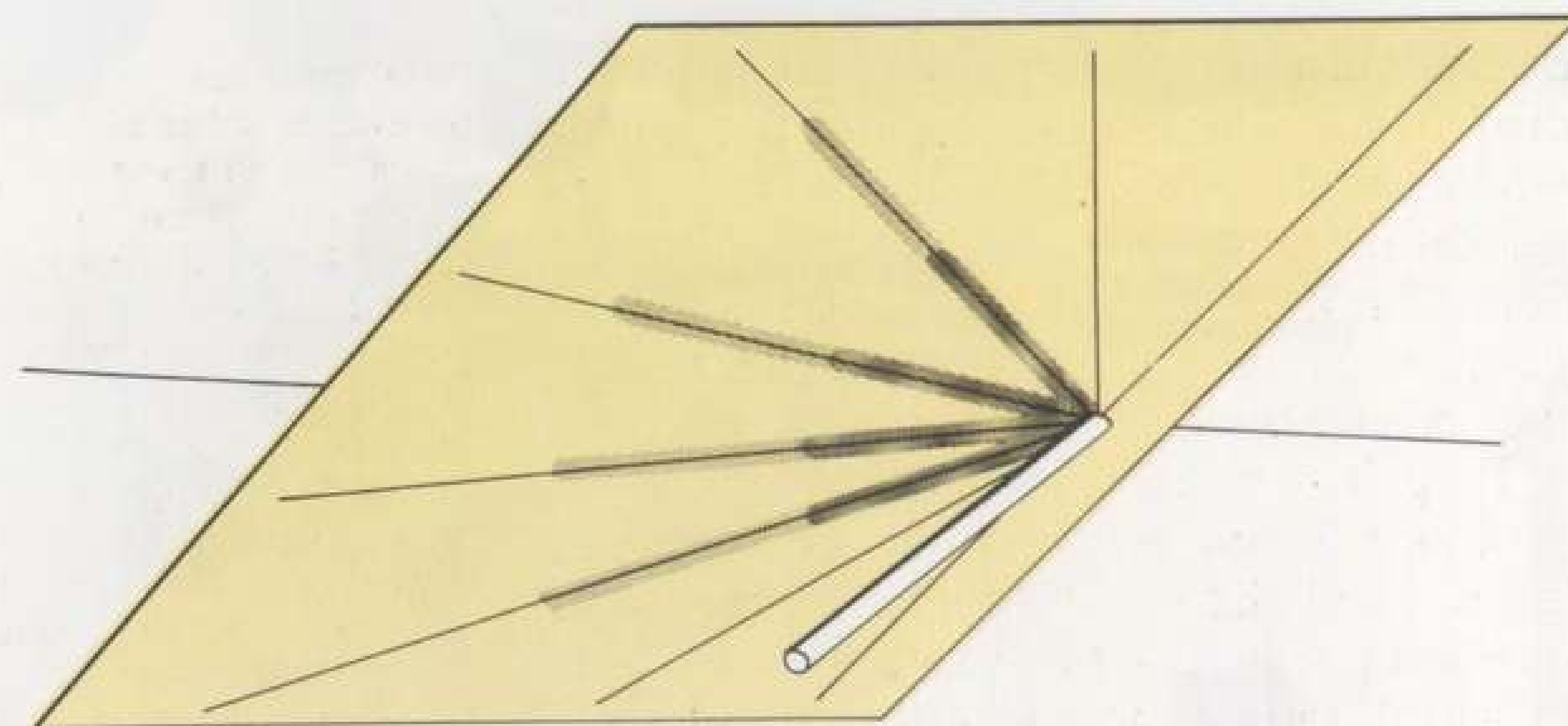
Todas las religiones antiguas poseían una mitología de ese tipo en la que estaba contenida la noción cíclica del tiempo. Estos mitos están relacionados con los ciclos naturales de la experiencia humana, como los de las cuatro estaciones, el nacimiento y la muerte de hombres y animales y el movimiento de los cuerpos celestes, como el Sol y la Luna. Por lo tanto, cuando entre los pueblos antiguos surgió la necesidad de medir el tiempo para disponer de un medio adecuado que les permitiese organizar las actividades humanas religiosas y políticas, les resultó muy natural servirse de estos ciclos. Para medir el tiempo durante las horas diurnas, el Sol constituye, ciertamente, el parámetro más útil, derivando de este hecho la invención del reloj de sol, cuyo uso se remonta a los tiempos del antiguo Egipto.

La ecuación del tiempo El reloj de sol mide el paso del tiempo a partir de los aparentes cambios de posición del Sol en el cielo. La posición del Sol está determinada por el movimiento de traslación de la Tierra a su alrededor y por la simultánea rotación de ésta sobre sí misma. Como la Tierra se mueve alrededor del Sol, cumpliendo cada día 1/365 de su órbita, el movimiento aparente del Sol es aproximadamente cuatro minutos más lento que el movimiento aparente de las estrellas. Por esta razón, existe una diferencia entre el tiempo registrado por los relojes mecánicos, llamado "tiempo solar medio", que corresponde al que mediríamos si el Sol se moviese exactamente con las estrellas fijas, y el tiempo indicado por la posición efectiva del Sol en la bóveda celeste. La diferencia entre tiempo solar medio y tiempo solar efectivo, se conoce como *ecuación del tiempo*.

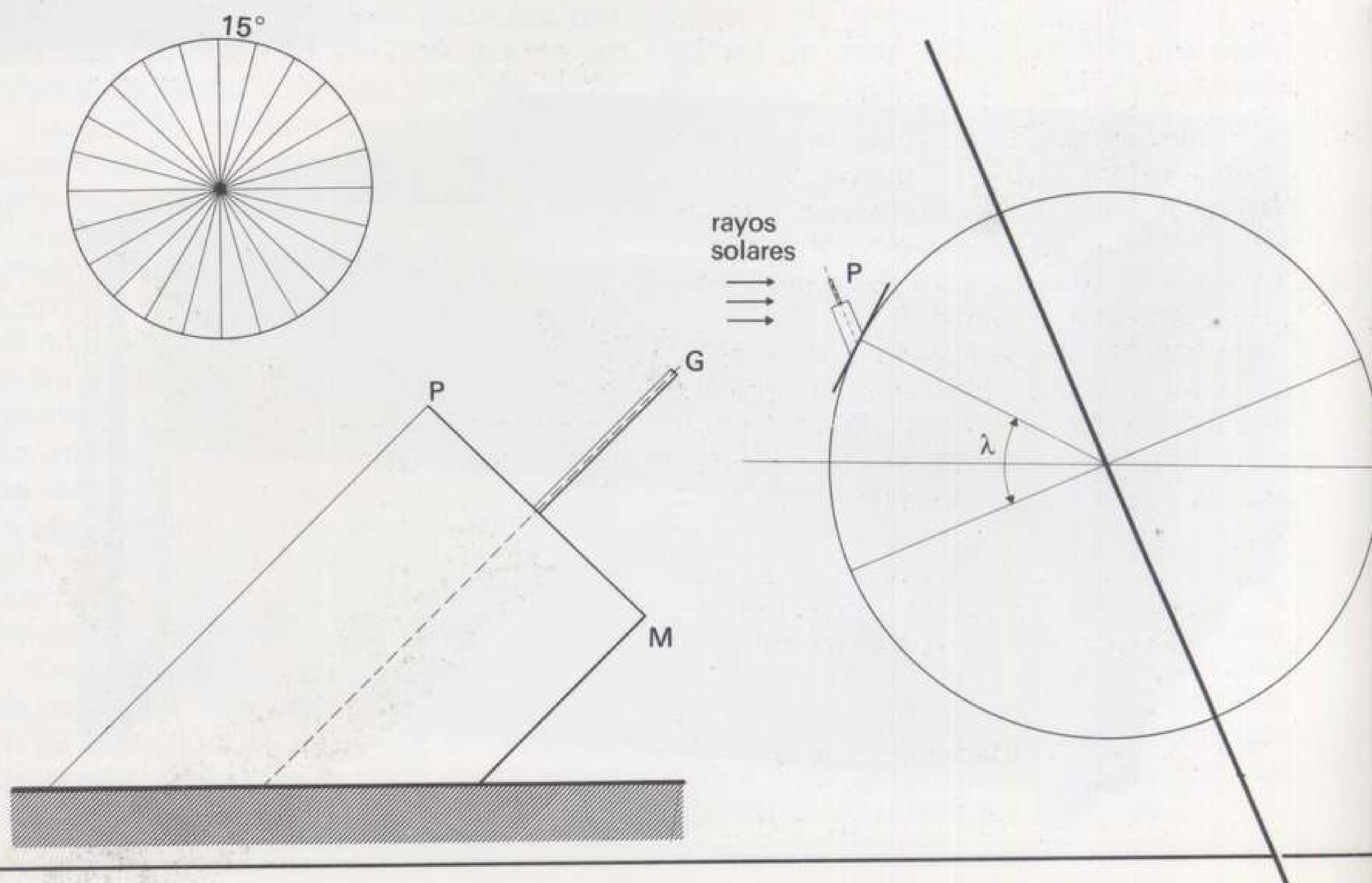
De todas formas, la ecuación del tiempo varía con las estaciones. Esto se debe a que la Tierra, al tener una órbita elíptica, en ciertos periodos del año está más cerca del Sol que en otros. Cuando su proximidad al Sol es mayor, la Tierra viaja a lo largo de su órbita más rápidamente (ley de Kepler), aumentando de esta manera la diferencia entre tiempo solar medio y tiempo solar verdadero. A principios del mes de noviembre la discrepancia entre ambos tiempos puede llegar hasta los 16 minutos. En cambio, el 15 de abril, el 13 de junio y el 25 de diciembre los dos tiempos resultan iguales.

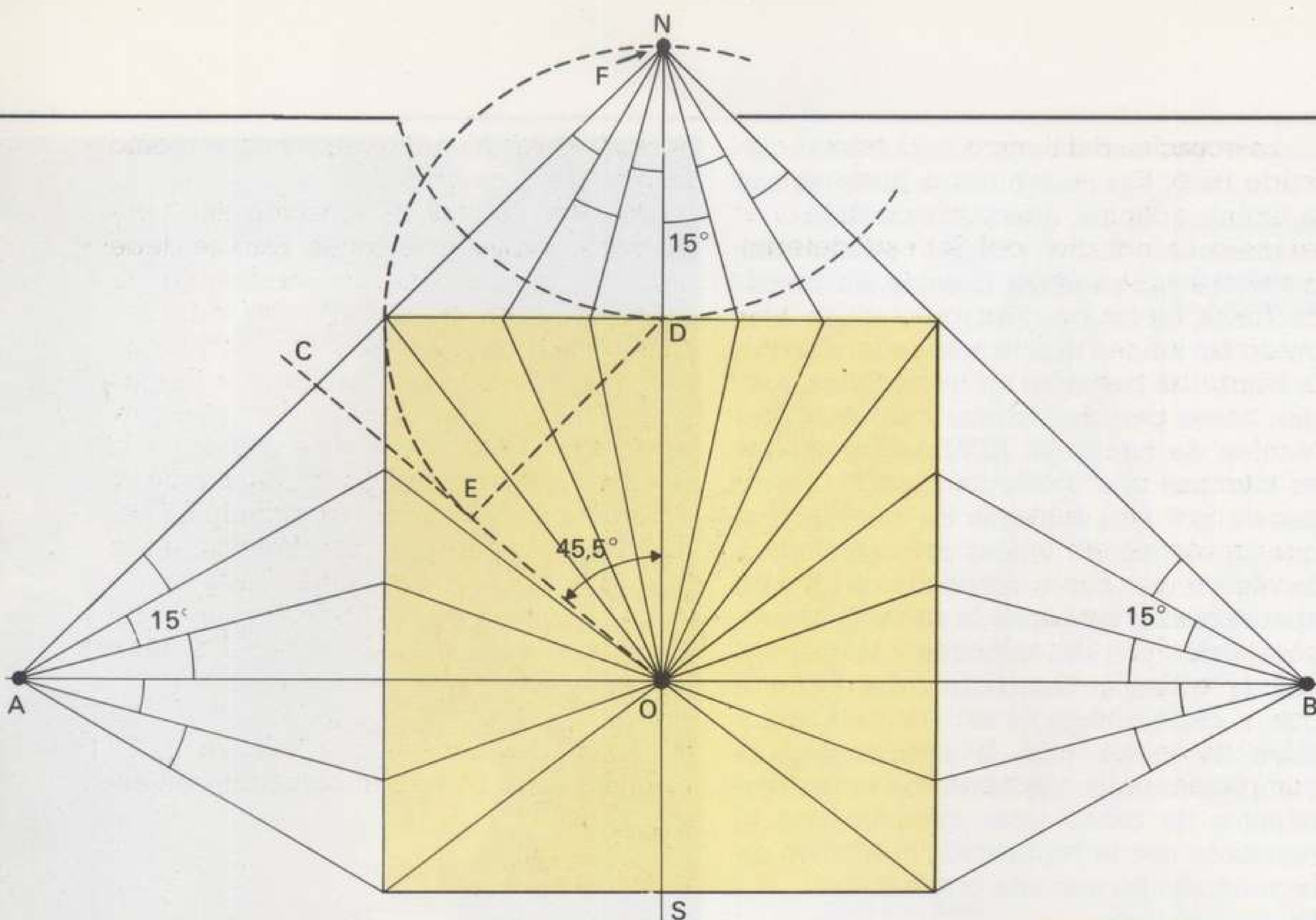
Construcción de un reloj de sol Los relojes de sol se deben construir con es-





Sobre estas líneas, funcionamiento de antiguos relojes de sol: el de la izquierda presenta el estilo colocado verticalmente, lo que conlleva una diferencia en la lectura de las horas según las estaciones. Hace unos tres mil años alguien se dio cuenta de que situando el estilo inclinado, de forma que estuviese orientado hacia el Polo norte, la sombra que proyectaba resultaba la misma durante todo el año (reloj de la derecha), es decir, si un día se utilizaba la sombra del estilo para trazar en el suelo una división en horas del día, durante todos los sucesivos días del año, la sombra del estilo volvía a marcar siempre la misma hora en el mismo punto. Abajo, funcionamiento de un reloj de sol ecuatorial, el más sencillo de todos. Está formado esencialmente por un estilo clavado sobre un plano sostenido por una columna inclinada. De esta forma, el estilo G es perpendicular al plano del reloj de sol PM, que está dividido en 24 partes. Por lo tanto, el estilo es paralelo al eje de la columna y ambos tienen la dirección del eje terrestre. Este reloj de sol marca siempre la hora exacta. A la derecha, colocación del reloj de sol con respecto a la superficie terrestre. El reloj está localizado en el punto P de latitud lambda (λ). Con esta inclinación el estilo también es paralelo al eje terrestre. El reloj de sol ecuatorial es muy simple, pero sólo puede indicar las horas en primavera y verano, cuando el Sol está más alto que el ecuador celeste. En cambio, en las otras estaciones el Sol está situado por debajo del plano ecuatorial, por lo que el cuadrante no puede recibir la iluminación necesaria para permitir una lectura válida. De todas formas, estos primeros relojes de sol resultaban de notable utilidad para el cómputo del tiempo.





a no ser que los utilizasen en el Ecuador, el tiempo que transcurría mientras la sombra del estilo pasaba desde una marca hasta la sucesiva, variaba considerablemente de una estación a otra: una hora en julio era notablemente más larga que una hora en enero.

A medida que las actividades humanas fueron haciéndose más complejas, también fue haciéndose más apremiante la necesidad de disponer de instrumentos que proporcionaran una medida más exacta del tiempo.

Aunque a menudo se ridiculice a la civilización moderna por su esclavitud al reloj, si hoy no existiesen sistemas exactos para la medida del tiempo, la vida resultaría extremadamente complicada.

Veáse **Reloj; Reloj atómico**

pecial cuidado para compensar las mencionadas diferencias existentes en la ecuación del tiempo. Un reloj de sol se puede improvisar sobre cualquier superficie que esté expuesta al Sol. Puede ser plano o curvo, siempre y cuando se tengan presentes dos criterios.

El primero es que el *estilo* o varilla —cuya sombra sobre la superficie indica la hora del día— esté colocado de forma que sea paralelo al eje terrestre. Por lo tanto, en el hemisferio septentrional el *estilo* se alineará con la Estrella Polar, es decir, con la que está directamente sobre el Polo norte. Cuando el Sol se encuentra en su posición más alta, o sea, en su cenit, un estilo colocado correctamente debe ocultar su propia sombra: esto corresponde a las 12 horas en punto (mediodía).

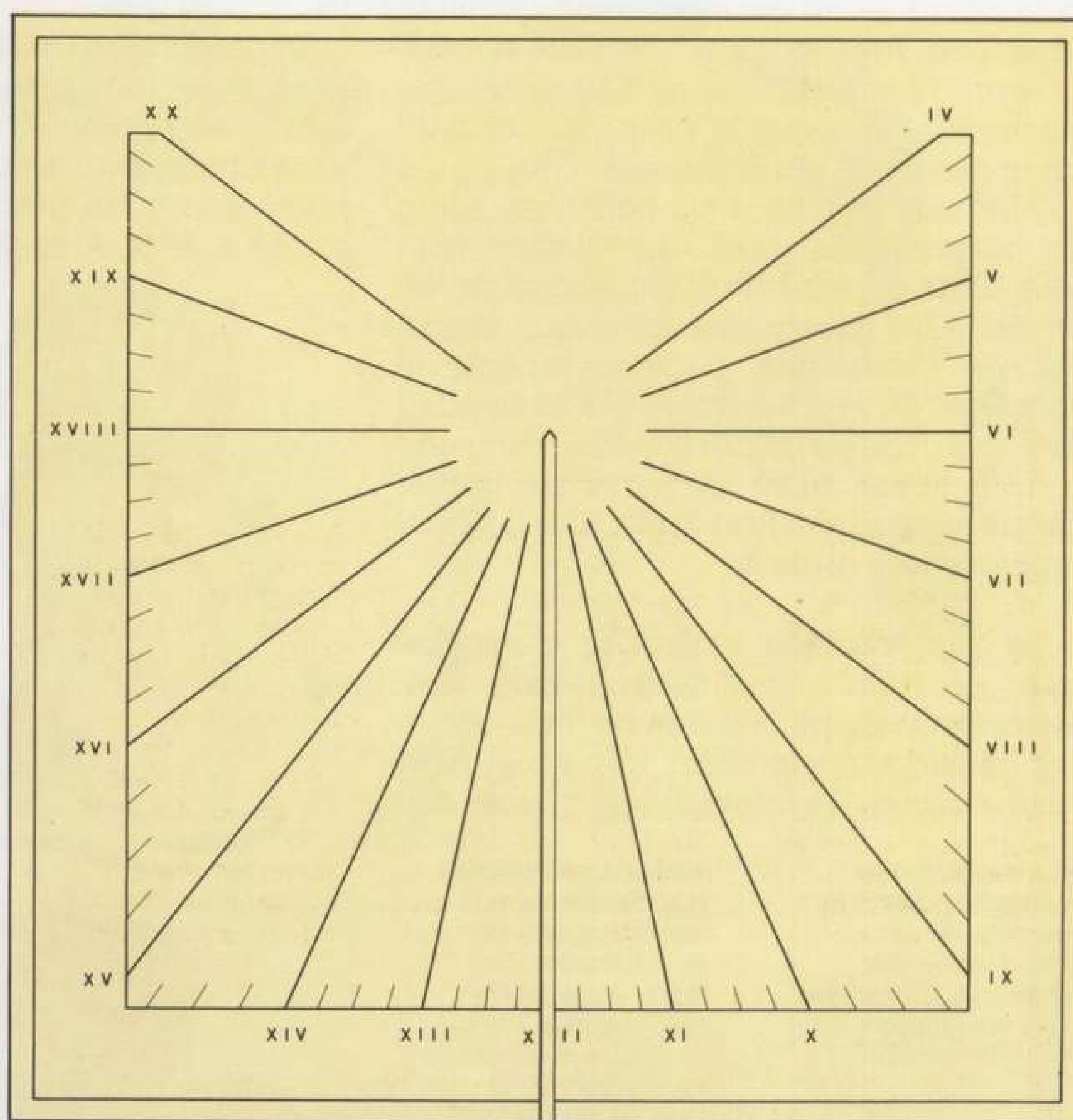
El segundo criterio a seguir es que las marcas existentes en el reloj de sol estén dispuestas de forma que compensen las diferencias que aparecen en la ecuación del tiempo. Dichas marcas estarían en la misma posición que las de un reloj de sol situado en el ecuador si la superficie sobre la que están hechas formase un ángulo recto con la posición adecuada del estilo en aquella latitud específica.

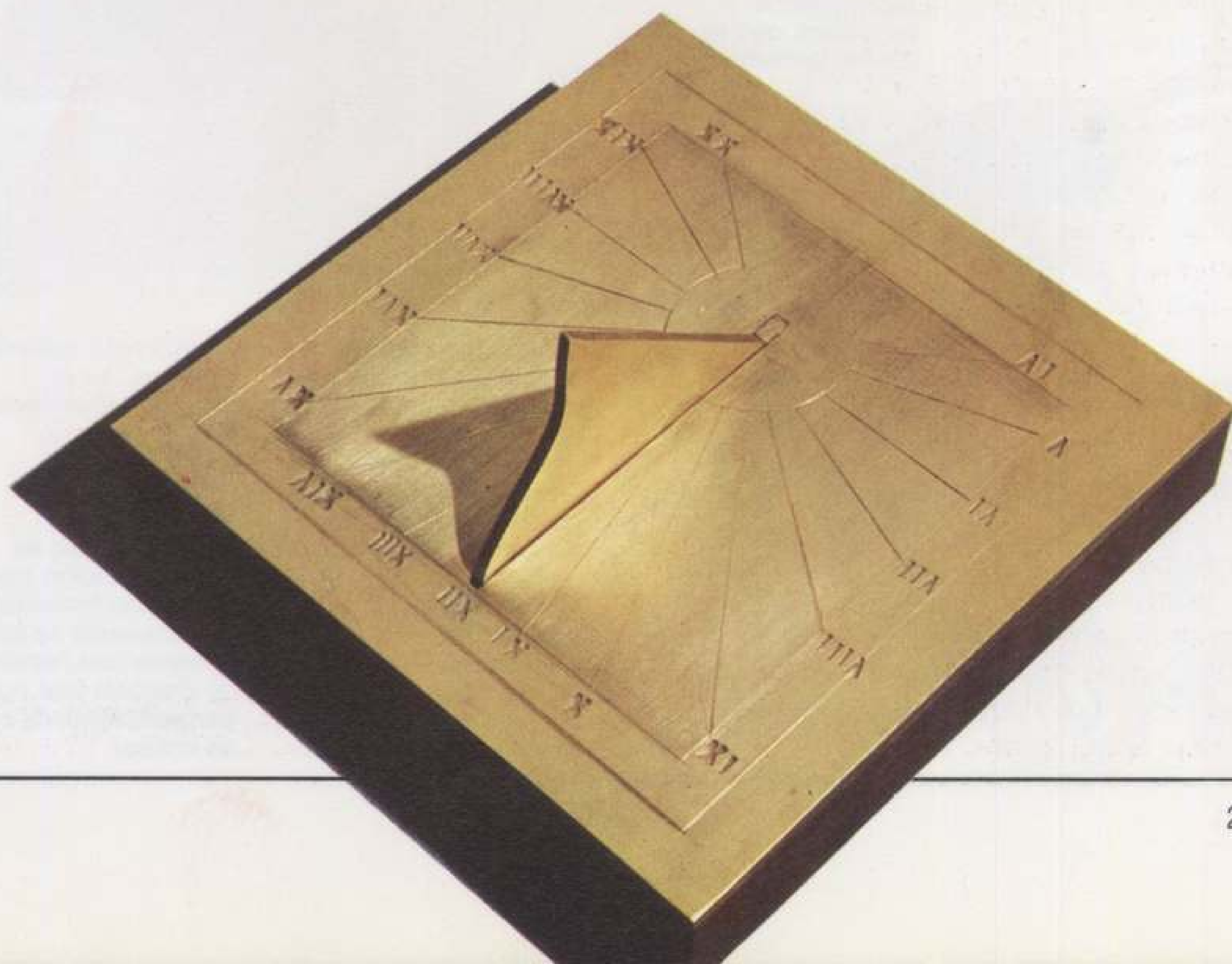
Un tipo particular de reloj de sol es la llamada *esfera armilar*, compuesta por varios círculos de metal, cartón u otro material que representan la esfera celeste, y en cuyo centro se coloca un pequeño globo que representa la Tierra.

Las marcas de las horas en un reloj de sol plano no son equidistantes entre sí. Pero si colocásemos sobre ese reloj de sol una superficie plana con las marcas ecuatoriales formando un ángulo paralelo al Ecuador y bajásemos una recta desde el final de cada marca horaria, encontraríamos que estas rectas se corresponden exactamente con las marcas de un reloj de sol plano.

Tiempo y actividades humanas Los antiguos romanos empleaban relojes de sol con marcas equidistantes entre sí, pero

Para trazar las divisiones sobre el cuadrante se toma una hoja de papel de 15 cm de lado y se divide en dos según la vertical. Así, se obtiene la línea norte-sur (NS en el esquema). El punto O se fija un poco apartado del centro. Seguidamente se traza la recta este-oeste, AB. Después, la recta OC, según la latitud del lugar donde se utilizará el reloj de sol. Desde D se conduce la perpendicular DE a la recta OC. Centrando con el compás en D y llevando la distancia DE sobre la recta NS, se obtiene el punto F. Desde F se traza la circunferencia en línea discontinua, dividiéndola en arcos de 15°. A partir de F se trazan las rectas FA y FB, y desde A y B se trazan otras divisiones de 15°: se obtiene así una subdivisión exacta en horas y un bonito reloj (abajo).





Reproducción

Uno de los capítulos más importantes de las ciencias biológicas es el de la reproducción, término que literalmente significa producir una copia idéntica de algo, pero al que se le han atribuido distintos significados a lo largo de los tiempos, ya que los biológos han encontrado muchas formas diferentes mediante las cuales tiene lugar la reproducción de los seres vivos. Así, cabe hablar de la reproducción de una población de individuos de cierta especie, proceso básico para la continuidad de la vida, ya que cada individuo aislado es efímero e, incluso, puede que precise, como en nuestra propia especie, del concurso de otros miembros de la especie para reproducirse. También se puede estudiar la reproducción de cada individuo describiendo lo que suele llamarse su ciclo vital. En tercer lugar, también es reproducción el proceso mediante el cual las células originan otras semejantes a ellas, un proceso básico por cuanto la célula es el organismo más sencillo capaz de reproducirse autónomamente. La reproducción celular es la base del crecimiento, regeneración y reproducción de los organismos pluricelulares.

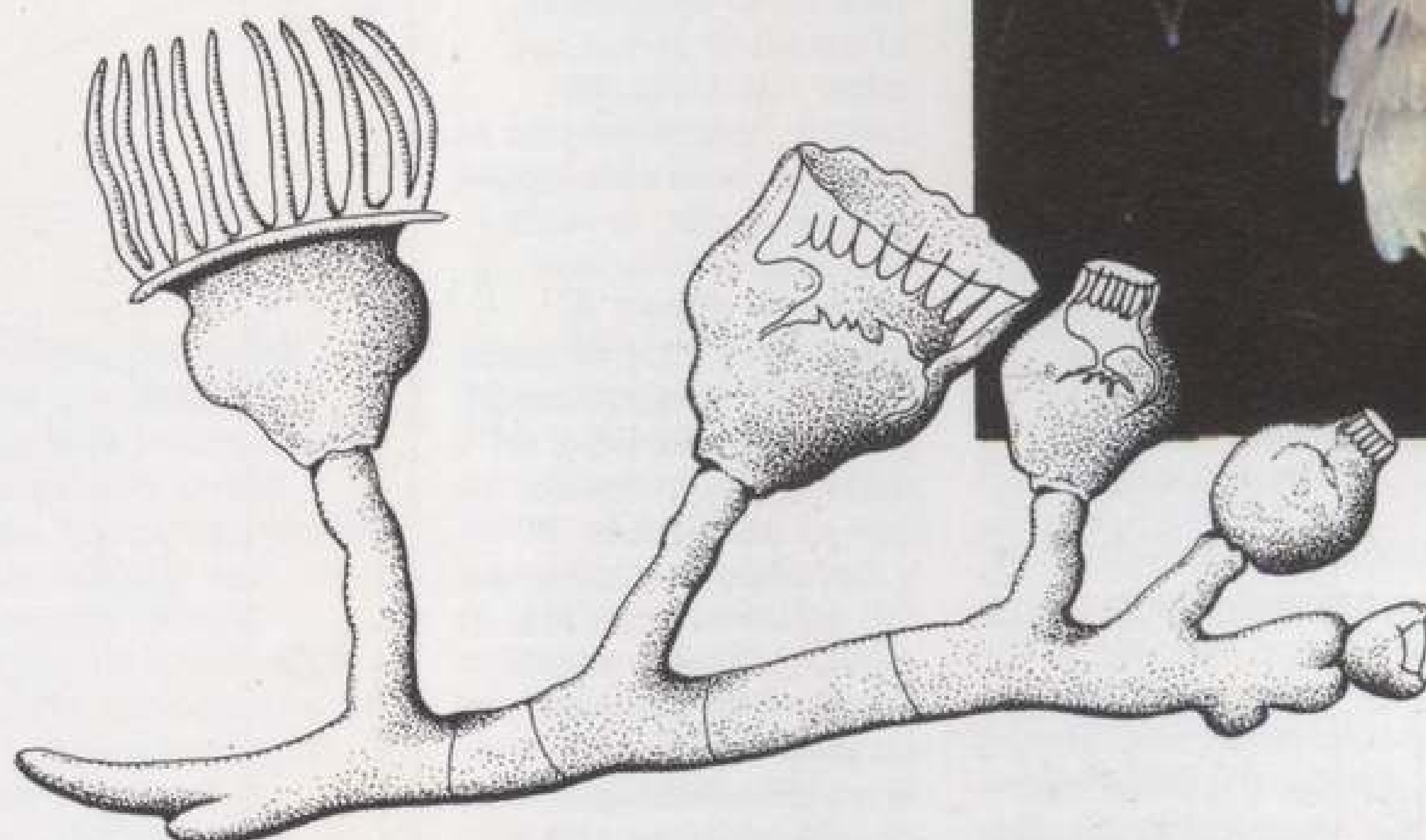
Algunos orgánulos subcelulares, como las mitocondrias y los cloroplastos, también están dotados de la capacidad de, en un ambiente intracelular apropiado, reproducirse. Finalmente, podemos aplicar el concepto de reproducción a la capacidad del ácido desoxirribonucleico, conocido con las siglas ADN, de servir de molde para la síntesis de otras moléculas de ADN similares a la original.

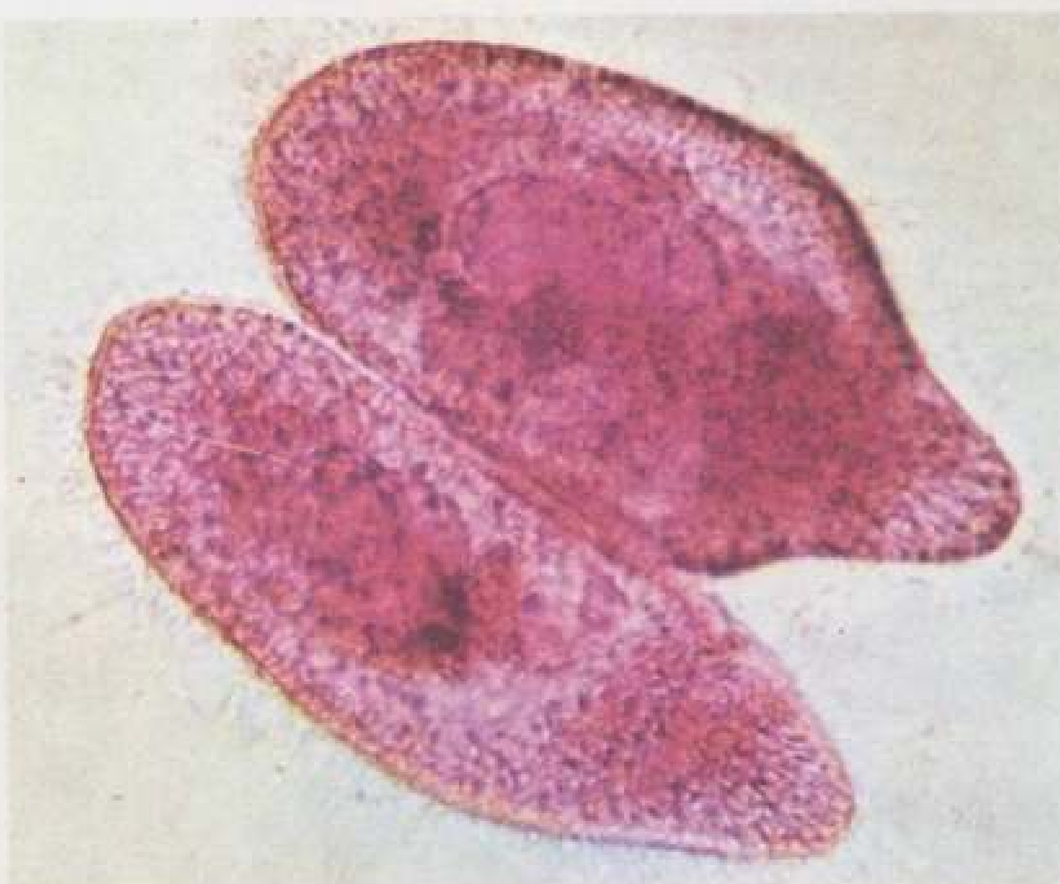
La reproducción molecular o replicación El ADN es una molécula muy compleja, formada por moléculas más sencillas llamadas *nucleótidos*. Hay en el ADN cuatro clases de nucleótidos, que se distinguen por uno de sus componentes, llamado base. Las cuatro bases distintas son la timina, adenina, guanina y citosina.

Los nucleótidos pueden polimerizar, dando largas cadenas lineales sin ramificaciones, en las que cada nucleótido está unido tan sólo al que le antecede y al que le sigue. Las bases de los nucleótidos quedan libres para reaccionar con otras moléculas; de hecho, el ADN de las células es siempre una molécula bipartita, compuesta por dos cadenas de nucleótidos, que se mantienen unidas precisamente a través de sus bases respectivas. En este apareamiento de bases, la adenina se empareja siempre con la timina y la citosina, con la guanina. Esta estructura permite que, si cada cadena se separa de la otra y sirve de molde para la síntesis de una complementaria, mediante los emparejamientos de bases antes mencionados, el resultado sea la replicación conforme de la molécula bicatenaria original.

Reproducción celular El ADN no sólo sirve de molde para su propia replicación, sino que también sirve de molde para la síntesis del otro tipo de ácido nucleico presente en las células, el ácido ribonucleico o ARN. A su vez, las moléculas de ARN dirigen la síntesis de las proteínas celulares, moléculas que controlan el metabolismo y sirven de soporte a numerosas estructuras orgánicas. A través del metabolismo, la célula puede aprovechar la materia y energía del ambiente para sintetizar su propia sustancia. A esta fase de síntesis sigue otra de reparto, en la que la célula se divide. Así, podemos considerar que la replicación del ADN es la primera fase de un proceso de reproducción celular.



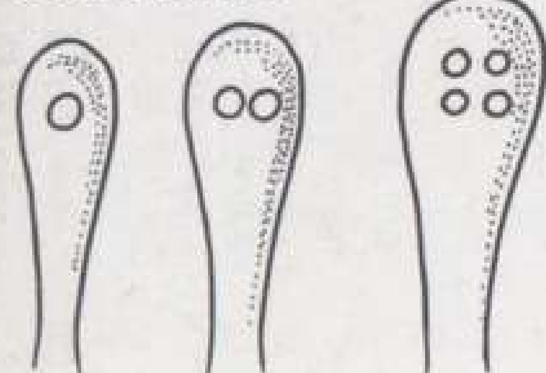


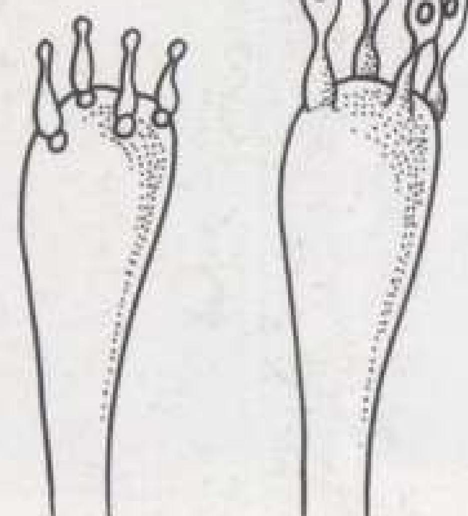


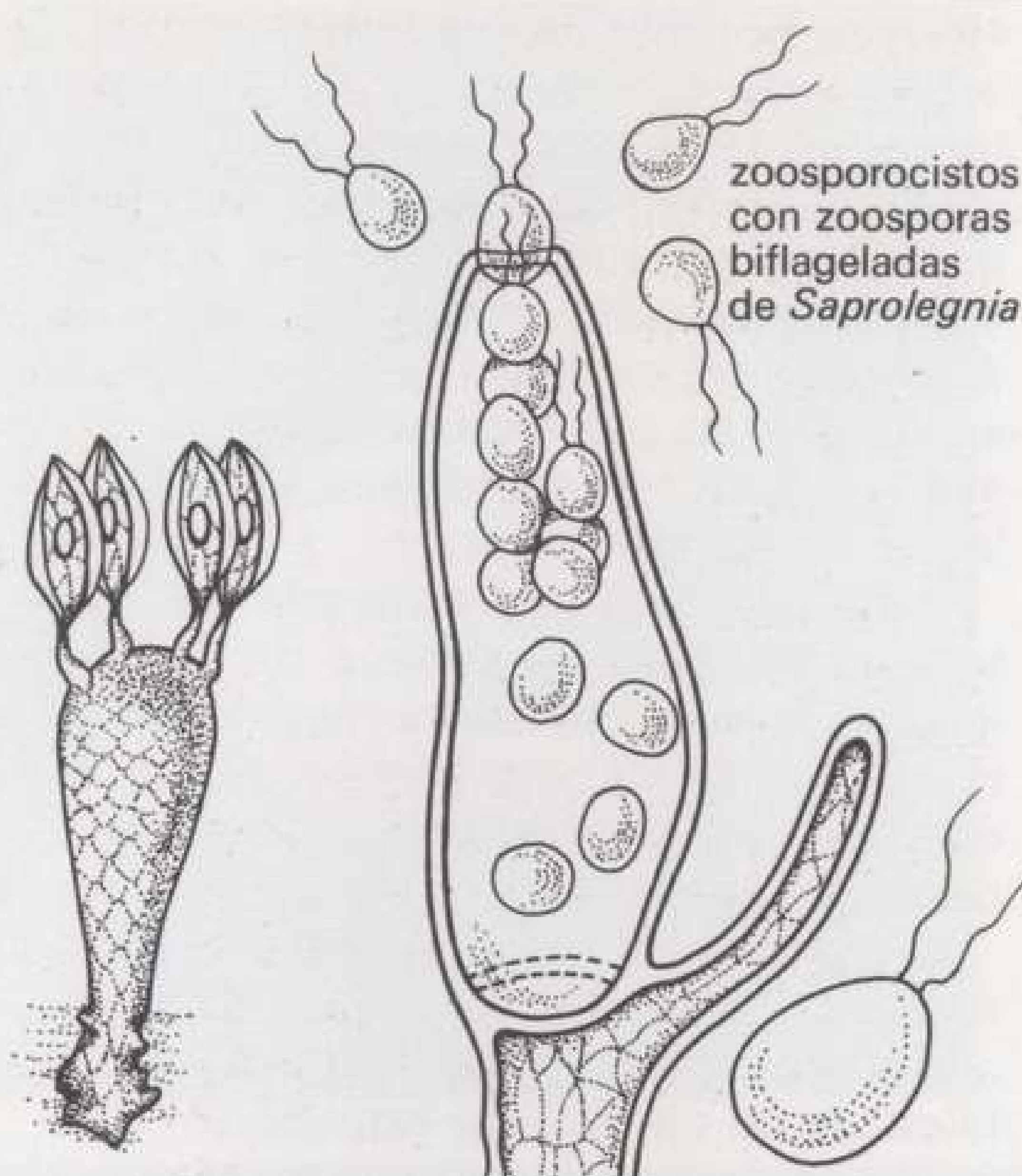


En esta página se representan algunos ejemplos de reproducción en animales y protozoos. En la fotografía superior, *Aurelia aurita*, una medusa grande que se está reproduciendo por estrobilación, una forma especial de reproducción asexual en la que el pólipo se va dividiendo en una serie de segmentos superpuestos, o estróbilos, que se liberan para dar las éfiras o larvas de las medusas. En el dibujo del centro vemos un ejemplo, el de los Endoproctos, de reproducción por gemación: formación de unas protuberancias, o yemas, que se diferencian en individuos nuevos. Sobre estas líneas, conjugación o unión pasajera de dos individuos para intercambiar material genético, en el protozoo *Paramecium*. A la derecha, división binaria en otro protozoo: *Vorticella*. La partenogénesis es la reproducción por óvulos sin fecundar; a la izquierda se puede observar una hembra de *Daphnia* con huevos partenogenéticos en su interior.

Aquí vemos dos ejemplos de reproducción en hongos. Abajo, esporogénesis en un hongo basidiomiceto: a partir de cada célula madre se forman, por meiosis, cuatro esporas uninucleadas. A la derecha, reproducción por medio de zoosporas biflageladas, o esporas móviles, en el hongo *Saprolegnia*.







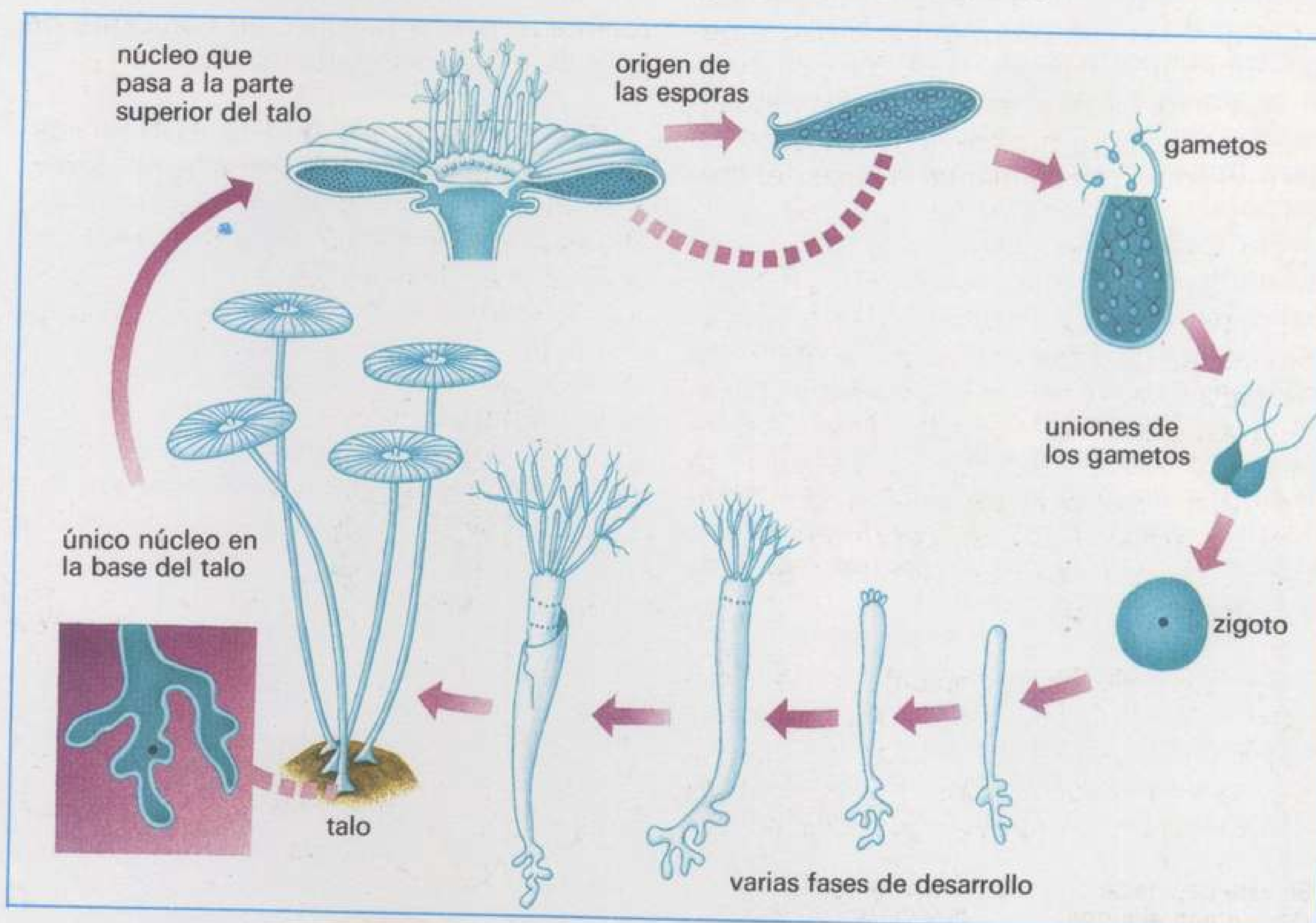
nos. En cualquier caso, para que la fecundación tenga lugar, es preciso que el gameto masculino alcance al femenino, que suele ser inmóvil; en muchos organismos el gameto masculino está dotado de movimiento propio, en otras especies, como muchas vegetales, es transportado hasta el óvulo por el viento o los insectos.

En la reproducción asexual no hay formación de gametos ni fecundación; simplemente, una parte pequeña del organismo parental se separa, como espora o yema, y forma un nuevo organismo. La reproducción asexual es más frecuente en algas, hongos y vegetales superiores que en los animales, aunque también estos la presentan.

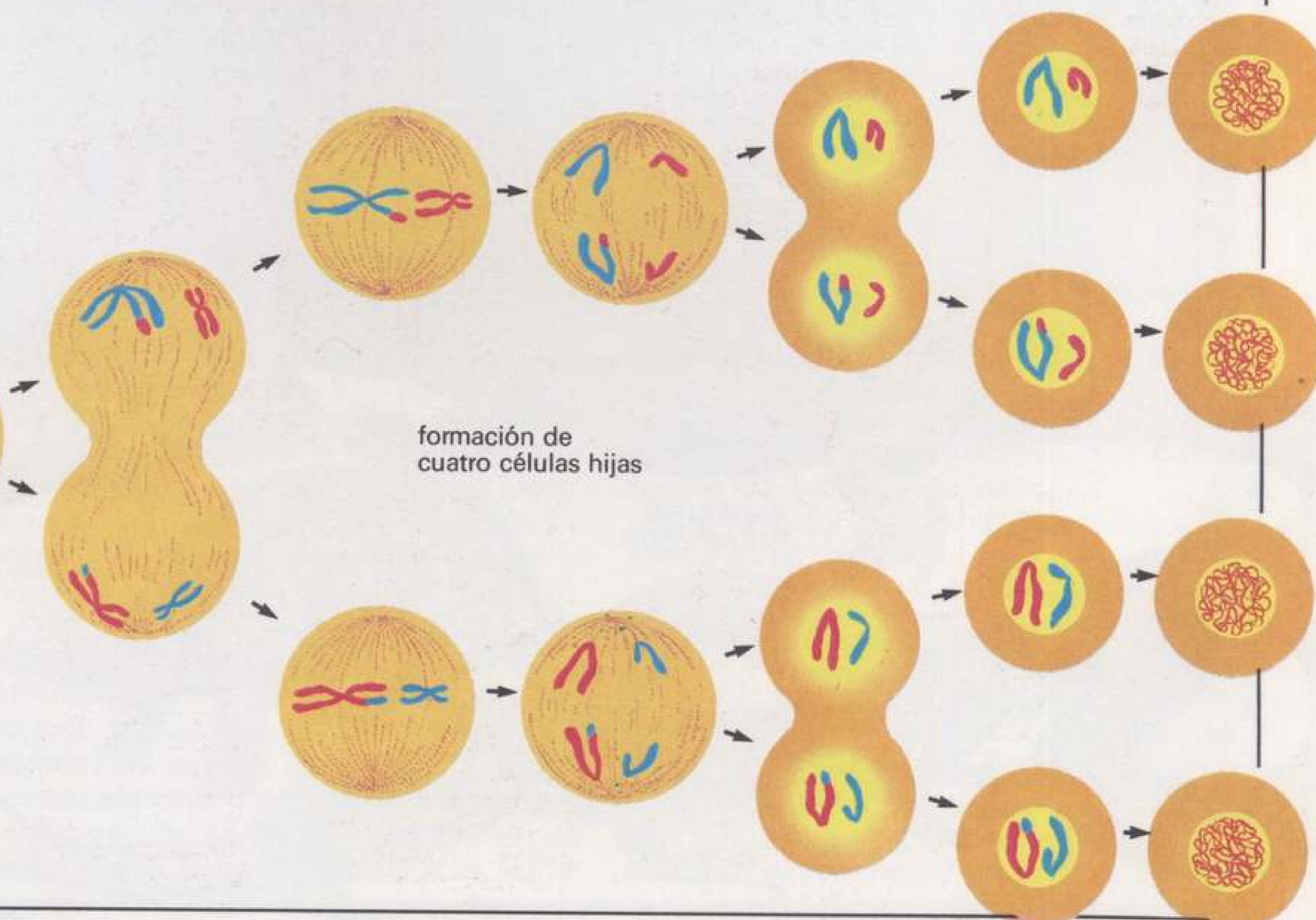
Véase **Bioquímica; Desoxirribonucleico y ribonucleico, ácidos; Gen; Genética**

Reprodución de los individuos En los organismos unicelulares, como las amebas, la reproducción celular equivale, obviamente, a la de cada individuo de la especie. En cambio, en los organismos pluricelulares, como aves, mamíferos, reptiles, etc., la reproducción celular no equivale a, pero es la base de, la reproducción de los individuos, reproducción que puede tener lugar por alguno de una gama muy amplia de mecanismos, que en estas páginas tan sólo mencionamos muy brevemente.

En líneas generales, se distinguen dos modalidades de reproducción: la *sexual* y la *asexual*. En la primera, la reproducción tiene lugar mediante unas células especializadas, o gametos, cada una de las cuales contiene la mitad del ADN característico de una célula somática de la especie. Existen dos clases de gametos: masculino y femenino. Cada gameto se une a uno del otro sexo, formando una célula cigótica, que contiene la cantidad somática de ADN. Esta célula cigótica, por sucesivas divisiones y procesos de diferenciación celular, se desarrolla en el nuevo individuo. Cada individuo adulto puede ser capaz de producir tanto gametos masculinos como femeninos, siendo entonces hermafrodita, o, en otras especies, como la humana, hay individuos hembra, que sólo producen gametos femeninos, y otros macho, que sólo producen gametos masculi-







Esquema de la meiosis: este proceso tiene lugar cuando una célula, con dos ejemplares de cada cromosoma, se divide para formar cuatro células hijas, cada una con la mitad del patrimonio genético de la célula madre. En la mitosis, en cambio, las células hijas reciben la misma dotación genética que poseía la célula madre. En el centro de la página vemos un esquema del ciclo de reproducción del alga verde *Acetabularia*.

Reptiles

Hace unos 350 millones de años, durante la evolución de los vertebrados surgió una población de animales anfibios a partir de la cual se originaron los diversos grupos de vertebrados actuales, tanto los propios anfibios como, posteriormente, los reptiles, las aves y los mamíferos.

Sus orígenes Los primeros vertebrados que abandonaron el medio acuático fueron los reptiles. Para adaptarse al medio terrestre desarrollaron potentes pulmones, que les permitían respirar en el aire; fueron capaces, además, de poner sus huevos en tierra firme, diferenciándose así de los anfibios que lo hacían en el agua. Los huevos estaban preparados para sobrevivir en la tierra gracias a una dura cáscara que los protegía de la desecación y de otros peligros, y gracias también a una membrana, el *amnios*, que encerraba el líquido que alimentaba al embrión.

Otra adaptación de los reptiles fue que el *tegumento* (membrana que recubre el cuerpo del animal) se hizo córneo y seco para impedir la pérdida de la humedad corporal.

Por todas estas circunstancias, la organización de los reptiles alcanzó un gran éxito evolutivo y ecológico, floreciendo en la era Mesozoica (también llamada por ese motivo Edad de los Reptiles) en la que se erigió en grupo dominante. Los reptiles de esta época ocuparon la mayor parte de los ambientes existentes entonces, desde los semidesiertos y tierras altas secas hasta los pantanos y litorales marinos, incluyendo el medio aéreo.

Su tamaño era muy variable: algunos, como el *Diplodocus*, llegaban a medir hasta 30 m, convirtiéndose en los más grandes animales terrestres conocidos.

Sin embargo, entre el final del Cretácico y principios del Eoceno, toda la población animal del mundo, incluida la marina, se vio afectada por un profundo cambio, de tipo climático principalmente, que motivó el declive de la mayoría de los grandes reptiles y el auge de las aves y de los mamíferos. Este hecho hace pensar a algunos científicos que los reptiles no superaron el enfriamiento climático debido a su incapacidad para regular su propia temperatura corporal, como lo hacen las aves y los mamíferos. Sin embargo, los reptiles mantienen su temperatura interna a un nivel relativamente alto y constante mediante la adopción de un comportamiento adecuado, ya sea exponiéndose a los rayos solares o refugiándose a la sombra en las horas de más calor.

Esta hipótesis está apoyada por la actual distribución geográfica de los reptiles: se encuentran en su mayor parte en zonas templadas y tropicales, alcanzando en estas últimas su máximo desarrollo y diversificación.

Respecto a la extinción de los grandes reptiles existen otras teorías diferentes, aunque se ignora a ciencia cierta cuál fue la causa de tan radical extinción.

De los catorce grupos primitivos de reptiles, sólo sobreviven en al actualidad cuatro.

Clasificación Los reptiles actuales se clasifican en cuatro grandes grupos: Quelonios (tortugas), Rincocéfalos (tuataras), Escamosos (lagartos y serpientes) y Cocodrílidos (cocodrilos).

Los Quelonios constituyen un amplio grupo, con más de 200 especies, que ha conservado algunos caracteres primitivos de los reptiles.

Hay tortugas terrestres, de agua dulce y marinas, éstas últimas generalmente de gran tamaño: la tortuga laud, por ejemplo, llega a medir más de dos metros de largo, y puede pesar media tonelada.

La característica esencial de las tortugas es que tienen el cuerpo encerrado en un caparazón, dentro del cual pueden retraer la cabeza y las patas. En la mayoría de las especies, el caparazón está cubierto a su vez por placas córneas que forman la "concha" de la tortuga; estas placas son comparables a las escamas de los demás reptiles. Cada año se forma en la concha una nueva capa que se coloca por debajo de la vieja, configurándose unas líneas o anillos de crecimiento que nos indican la edad del animal.

Otra característica de los Quelonios actuales es la falta de dientes, tanto en las formas herbívoras como en las carnívoras. En su lugar, los bordes de las mandíbulas forman un pico córneo muy robusto.

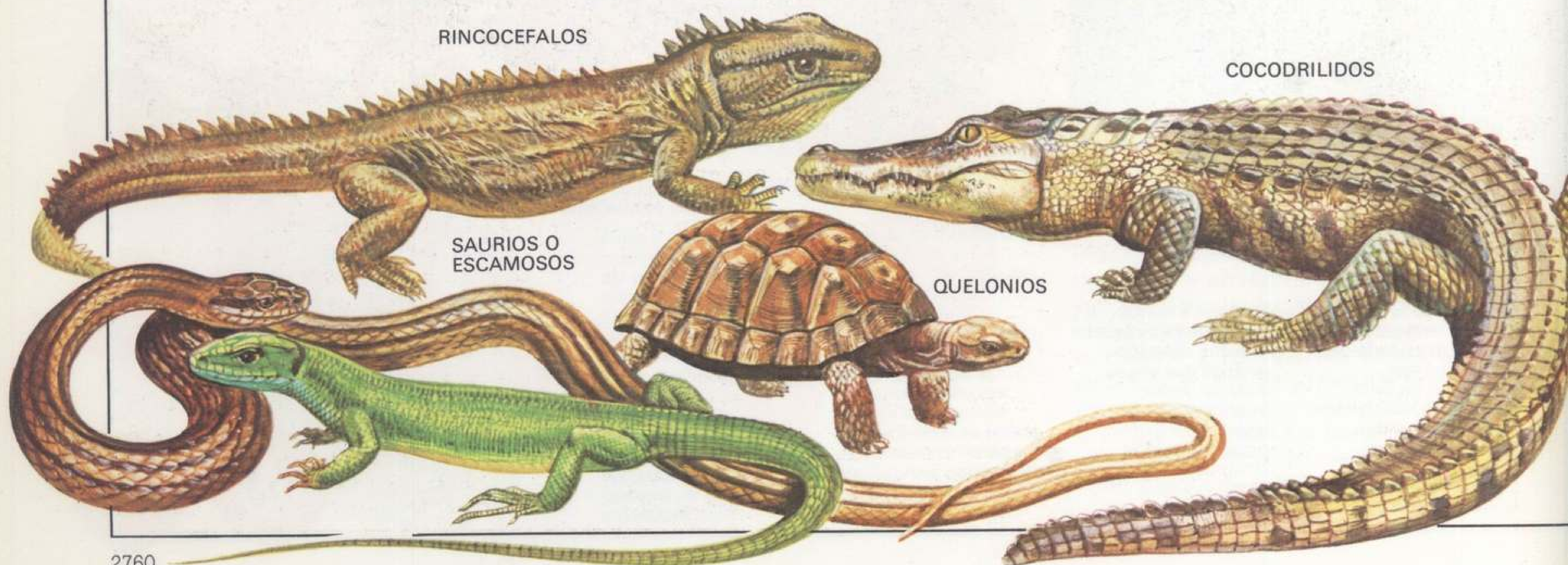
La respiración de las tortugas es ligeramente distinta a la del resto de los reptiles, debido a la rigidez de las paredes del cuerpo; los pulmones están unidos a la parte dorsal del caparazón, pero la respiración se realiza, principalmente, mediante la contracción de los músculos abdominales modificados, que funcionan de forma parecida al diafragma de los mamíferos. Algunas formas acuáticas respiran también llenando de agua unos sacos vasculares situados en la *cloaca*, que funcionan como branquias cuando el animal está sumergido.

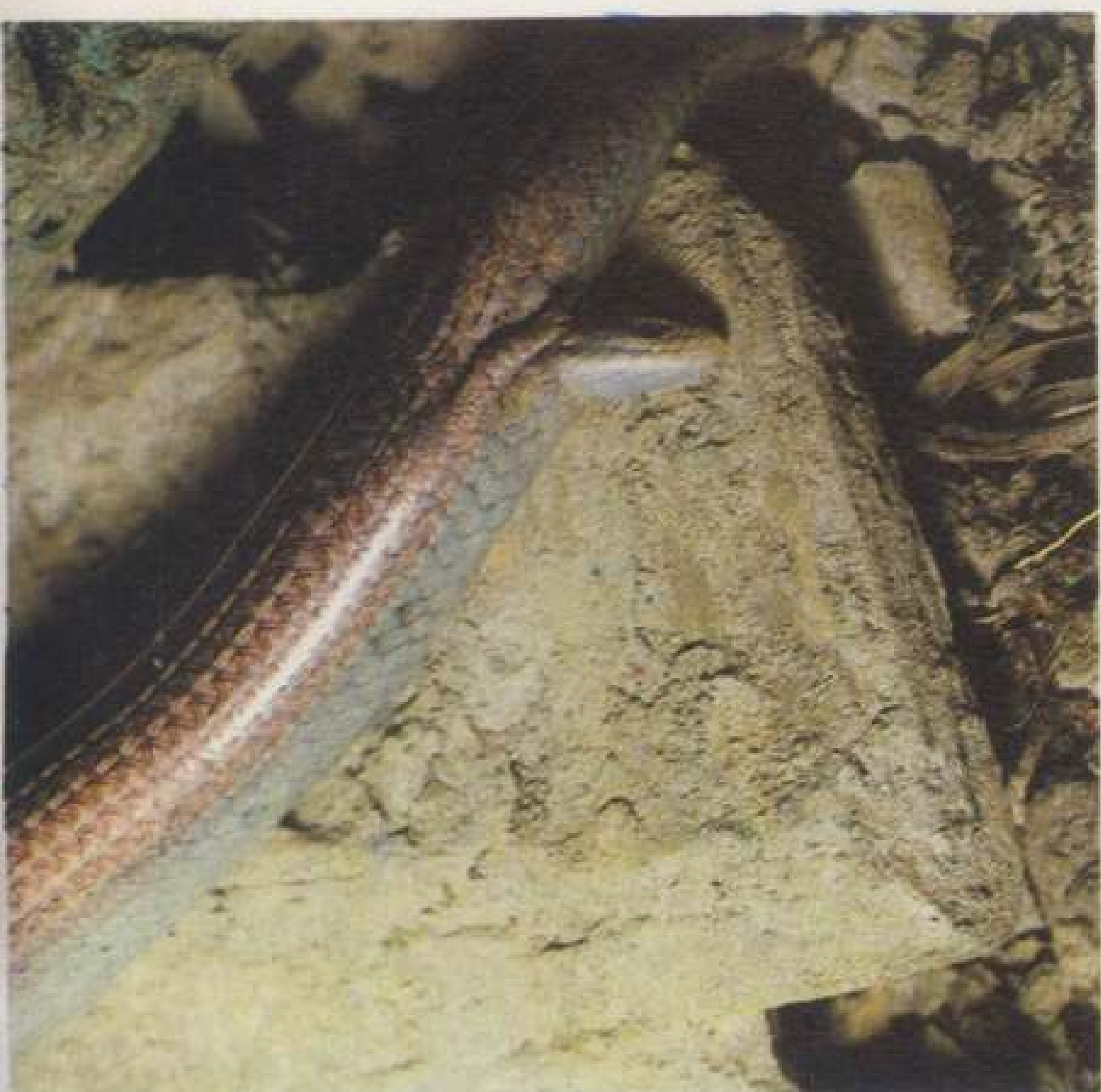
La fecundación es interna, como en todos los reptiles. Los huevos son depositados en las orillas, en agujeros hechos con la cola o excavados con las patas. Estos agujeros son recubiertos después cuidadosamente para evitar el acecho de posibles depredadores.

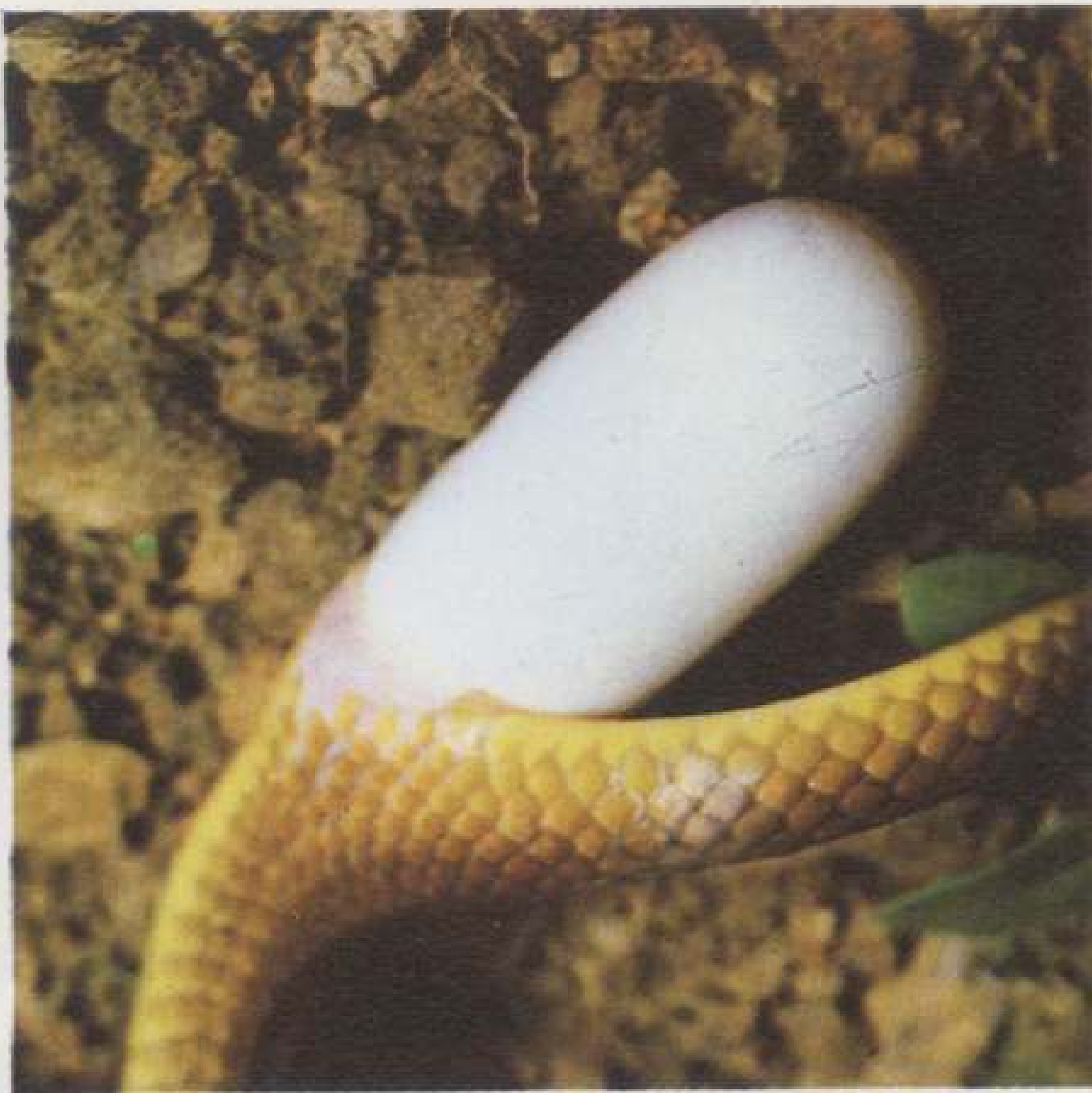
Rincocéfalos El único miembro viviente de este orden es el tuatara (g. *Sphenodon*), el reptil más antiguo que sobrevive en la Tierra. Hace tiempo se encontraba distribuido por toda Nueva Zelanda, pero hoy día está limitado a algunas islas septentrionales, donde permanece gracias a las medidas de protección recientemente aplicadas.

El tuatara se parece en su aspecto externo a un lagarto, mide unos 70 cm de largo y su régimen alimenticio es insectívoro y carnívoro. Presenta numerosos caracteres primitivos, como un ojo pineal medio, del que carecen los reptiles actuales, todo lo cual le convierte en un ejemplar muy interesante para el estudio de los reptiles primitivos.

Bajo estas líneas están dibujados varios representantes de la clase de los reptiles, que tuvieron un gran desarrollo en la era Mesozoica. En la actualidad, esta clase está representada por los Quelonios, Rincocéfalos, Cocodrílidos y Escamosos (este último grupo →







→ comprende los lagartos y las serpientes). La mayoría de los reptiles son ovíparos. La hembra pone un número variable de huevos (de media docena a más de 150) después de un intervalo de tiempo, que varía de unos días a varios meses, a partir de la fecundación. Las especies acuáticas también ponen los huevos en tierra firme, en la arena o en cavidades de los árboles. Tras un período de incubación solar bastante breve, nacen las crías (abajo). La cáscara del huevo se rompe gracias a un pequeño diente córneo que posee el hocico del embrión, o a un auténtico diente óseo; ambos se caen después del nacimiento. Sin embargo, hay reptiles que en el curso de su evolución se han convertido en ovovivíparos; en estos casos el embrión se desarrolla dentro del cuerpo de la madre (izquierda), lo que constituye un mecanismo de defensa de la especie frente a los múltiples peligros que acechan a los huevos. Las crías, desde el momento del nacimiento, son muy activas y autosuficientes.

Escamosos En este grupo se incluyen los lagartos y las serpientes, los reptiles actuales que han alcanzado mayor éxito ecológico. En conjunto suman más de 5.000 especies.

Los lagartos presentan una variada morfología. Ocupan habitats tanto terrestres como acuáticos, y en función de los mismos presentan patas cortas o largas, fuertes o delicadas.

La piel suele ser flexible, con numerosas escamas que se disponen en hileras y que aparecen imbricadas como las tejas de un tejado.

La mayoría de los lagartos es carnívora, presentando dientes cortos e iguales para la masticación. En los lagartos insectívoros, la lengua, que puede ser móvil o extensible, se recubre de mucus en la punta para facilitar la captura de presas.

Presentan un tímpano externo a cada lado de la cabeza, carácter del que carecen las serpientes. Se diferencian de ellas también por poseer una membrana transparente que recubre la córnea, aunque en algunas especies ha desaparecido.

Al grupo de los lagartos pertenecen los gecos, las iguanas, los camaleones, las lagartijas, etc. El mayor lagarto que se conoce es el dragón de Komodo, que alcanza más de 3 metros de largo.

Una característica interesante de los lagartos es su capacidad para desprenderse de la cola cuando se ven en peligro o son capturados por un depredador. Esta capacidad, denominada *autotomía*, se debe a la presencia de planos especiales de ruptura que pasan por los cuerpos de las vértebras de la cola. Esta se regenera después, aunque ya no es una cola normal, puesto que carece de vértebras (éstas no se regeneran) y en su lugar se for-

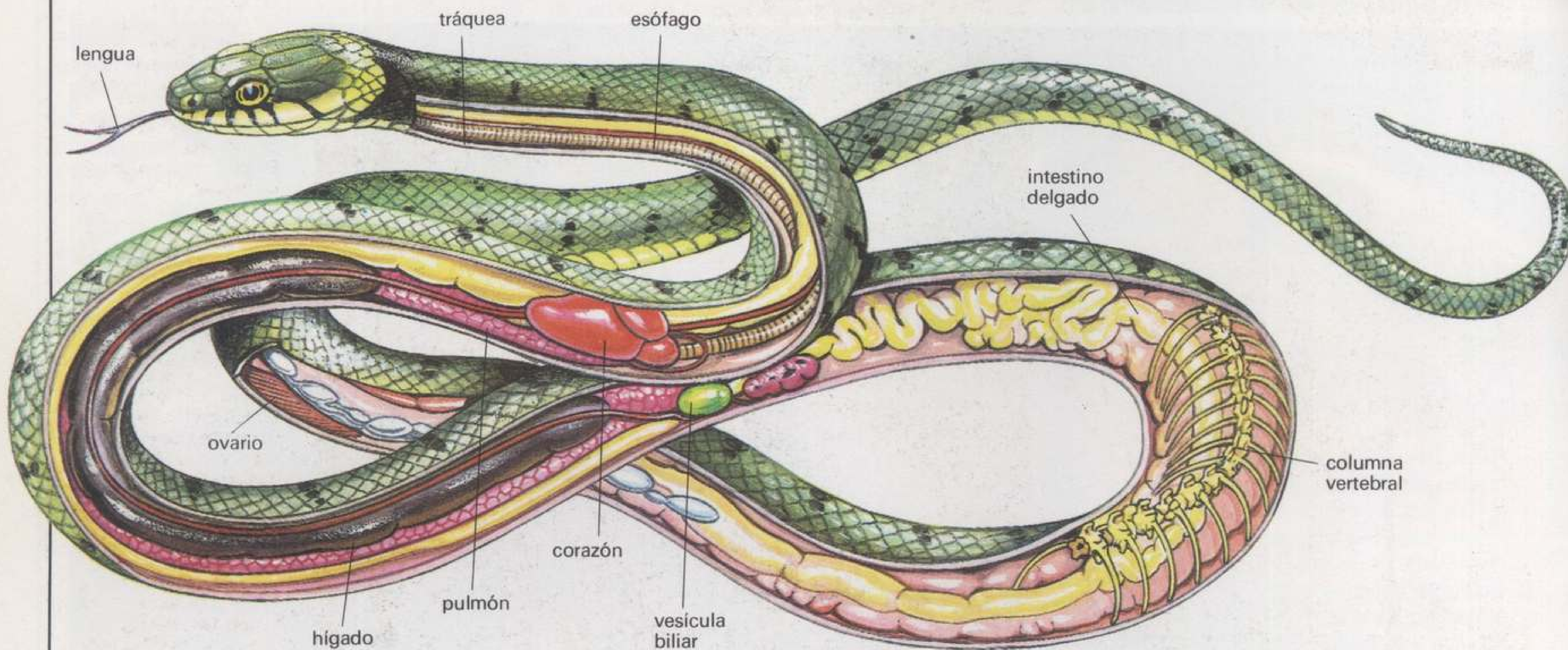
ma un tubo cartilaginoso no segmentado que cumple las mismas funciones.

En cuanto al grupo de las serpientes, éstas presentan una gran variedad de modificaciones con respecto a los restantes escamosos. La modificación o adaptación más evidente es la total falta de miembros, aunque en algunas especies de boas y pitones se encuentran rudimentos de las extremidades posteriores. La locomoción se realiza mediante ondulaciones del cuerpo, al apoyarse en los objetos circundantes, o bien gracias a los movimientos musculares de las escamas ventrales.

Las serpientes no cortan ni mastican el alimento, sino que tragan las presas enteras. Esto es posible gracias a una serie de







modificaciones, tanto de los huesos del cráneo como de las costillas, del esternón y de órganos como el estómago y el esófago. Los dientes también ayudan a la deglución, ya que están curvados hacia atrás para impedir que la presa vuelva a salir una vez que está adentro. Por otra parte, la situación muy anterior de la glotis les permite respirar durante la deglución.

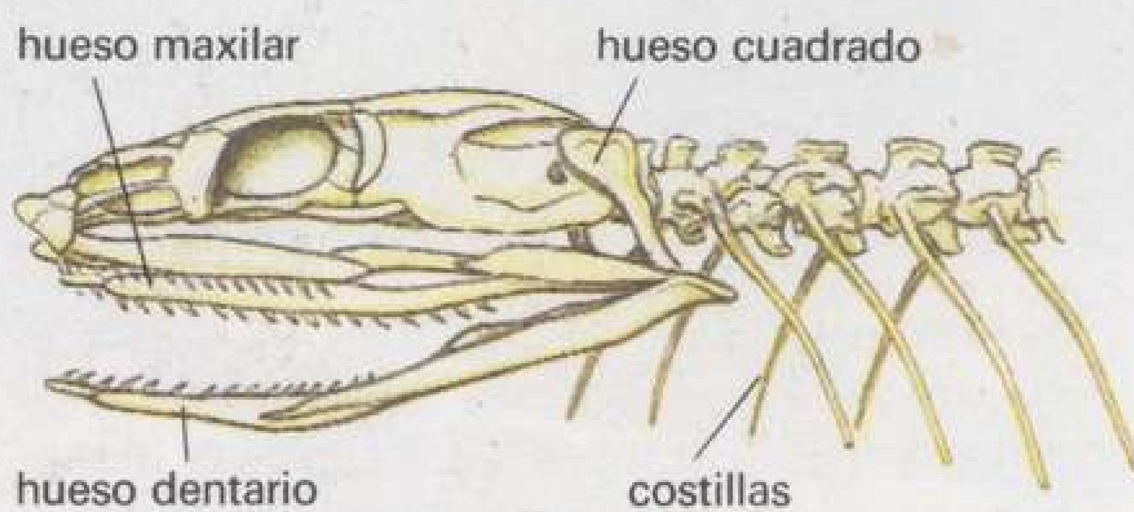
Los dientes de las serpientes pueden erigirse cuando atacan a una presa y después plegarse cuando no se usan, lo cual permite que sean muy largos (casi 2,5 cm en el caso de una víbora bufadora).

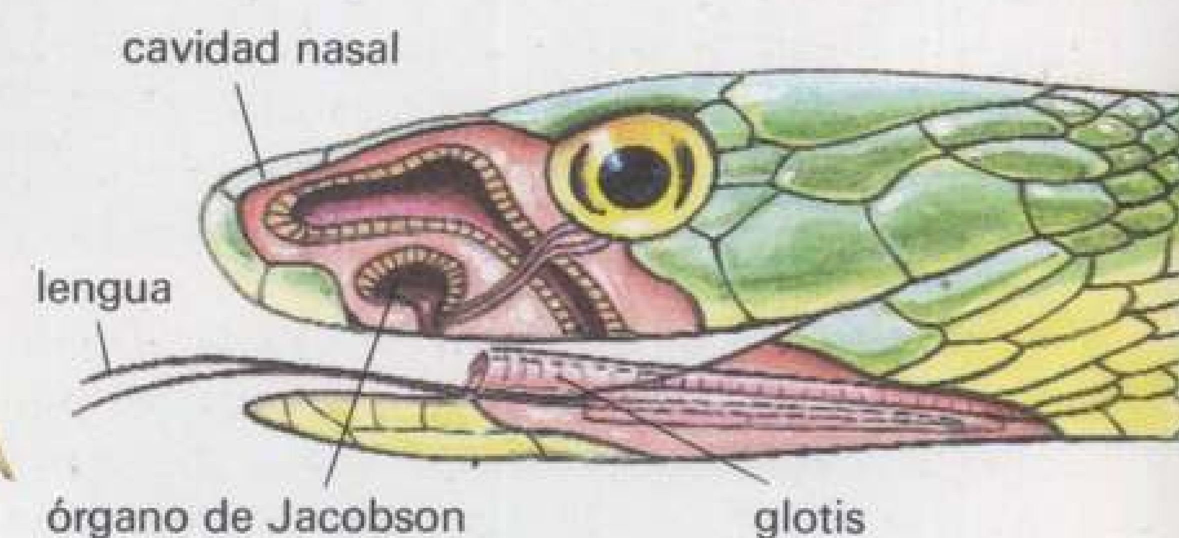
La mayoría de las serpientes vivientes pertenece a la familia de los colúbridos, que comprende muchas formas inofensivas, como la culebra de agua, aunque otras familias son características por ser muy venenosas. La familia de los elápidos, por ejemplo, incluye las cobras, áspides y serpientes de coral.

Algunas especies de serpientes muy venenosas son marinas. Para la natación han desarrollado colas comprimidas lateralmente. La mayoría de las serpientes marinas es vivípara, al igual que muchas serpientes de agua dulce.

Cocodrílidos Los cocodrilos actuales son los supervivientes de un grupo muy abundante en otro tiempo, que fue cambiando paulatinamente desde que se originó, hace unos 190 millones de años. Están estrechamente relacionados con sus antepasados los dinosaurios.

Las especiales características de los cocodrilos se fundamentan en su adaptación





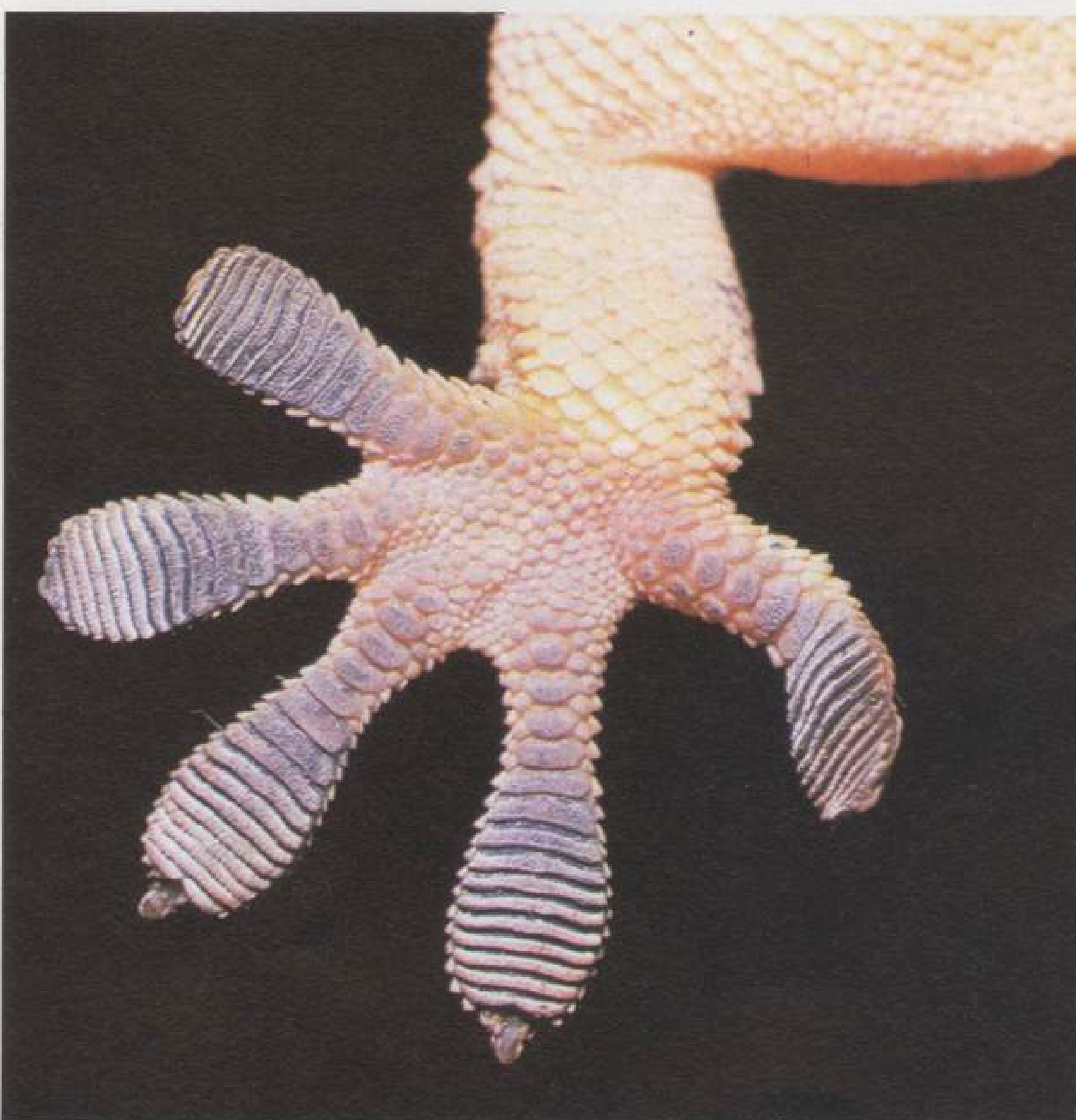
Los ofidios (serpientes) se caracterizan por su peculiar estructura anatómica; carecen de cintura torácica y esternón, y los huesos del cráneo están unidos por ligamentos elásticos que permiten una gran dilatación de la cavidad bucal, lo que facilita la ingestión de grandes presas, que son tragadas enteras. En el dibujo del centro se observa la anatomía de una serpiente: resulta evidente la adaptación de las vísceras a la forma del cuerpo. Todos los órganos han sufrido modificaciones, se han alargado, hay un único pulmón y las costillas y vértebras son más numerosas. Sobre estas líneas, cráneo y sección longitudinal de la cabeza de un colúbrido. Arriba a la izquierda, un caimán del Mississippi *(Alligator mississippiensis)*. Excepto el *Alligator cineensis* del curso inferior del río Changjiang, las demás especies de *Alligator* son exclusivamente americanas. A la derecha, una *Pseudemys scripta*, también del continente americano.











Arriba, a la izquierda, un tuatara, que sobrevive en algunas islas de Nueva Zelanda. Sus primitivas características revelan su parentesco con muchas otras formas del Mesozoico. En el centro, un geco común de la India, Malasia e Indonesia. Tiene costumbres muy reservadas, y los indígenas lo consideran portador de buena suerte. Este reptil tiene la pupila vertical, como todos los saurios, y unos órganos adhesivos en los dedos que le permiten subir por las paredes (fotos a la izquierda de estas líneas). Sobre estas líneas, un lagarto verde *(Lacerta viridis)*, que pertenece al género *Lacerta*, uno de los más numerosos y complejos, debido a su gran variabilidad. Abajo, un peligroso crótalo americano.

al medio acuático, ya que pasan la mayor parte de su vida en este medio. Poseen, por ejemplo, un repliegue en la parte posterior de la lengua, que separa completamente la boca del conducto respiratorio, por lo que pueden mantener la boca abierta bajo el agua.

Los orificios nasales, situados en el extremo del hocico, también pueden cerrarse bajo el agua mediante una serie de músculos, y los tímpanos quedan protegidos por repliegues escamosos.

Los cocodrilos nadan mediante movimientos laterales de la cola, utilizando también, para la natación lenta, las patas, que presentan unas membranas entre los dedos similares a las de las aves.

En cuanto a la reproducción, son ovíparos, depositando sus huevos en nidos formados por vegetación o en huecos de la arena.

El género más ampliamente distribuido es el género *Cocodrilus*, siendo también comunes los géneros *Caiman* y *Gavialis*.

Véase **Dinosaurios; Vertebrados**



Resfriado

Nariz obstruida, garganta inflamada, dolor de cabeza, cansancio y dolor de huesos, seguidos, tras unos días, de estornudos y, a veces, de tos, son los síntomas característicos de un resfriado. Todo el mundo ha padecido, al menos alguna vez, un resfriado y sabe que dura relativamente poco, por lo general una o dos semanas. Los síntomas poco preocupantes y, habitualmente, la falta de fiebre lo hacen reconocible y lo diferencian de otras enfermedades parecidas, como la gripe. No obstante, los procesos inflamatorios agudos de las vías respiratorias superiores, propios de un resfriado, constituyen uno de los trastornos más frecuentes que padece la humanidad.

El contagio El agente infeccioso que provoca el resfriado es un virus llamado *rhinovirus*. *Rhino* es una palabra griega que significa "nariz", y, efectivamente, los *rhinovirus* atacan la nariz. Han sido aisladas más de cien cepas de *rhinovirus*.

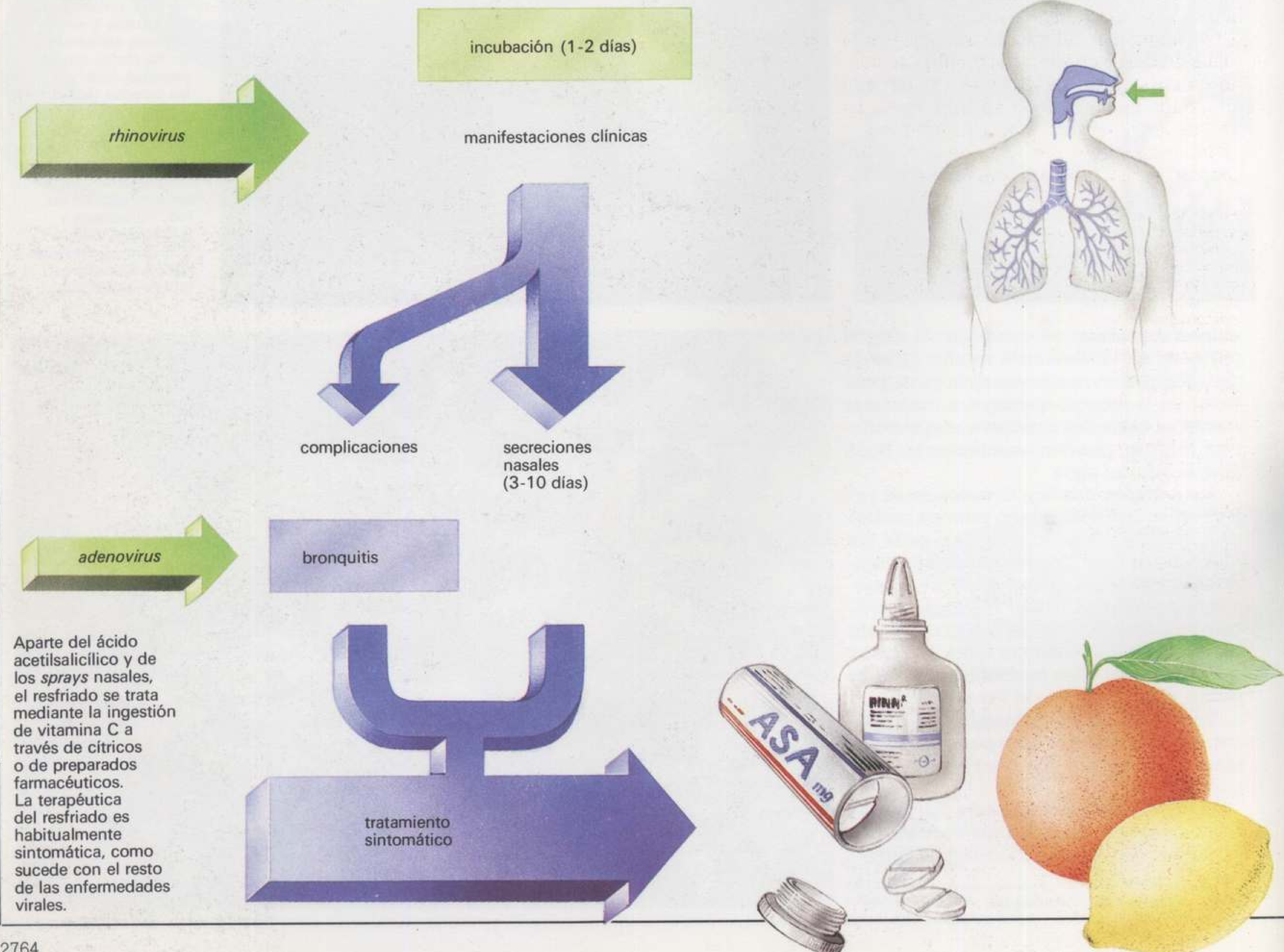
En realidad, un resfriado no se "coge", como vulgarmente se dice, sino que se inhala. La persona resfriada difunde en el aire, mediante el estornudo y la tos, gotas microscópicas infectadas de virus. Aspiradas por una persona sana, estas gotas se difunden por las paredes de las fosas nasales y utilizan el material de las células para fabricar nuevos virus. El organismo responde a esta invasión produciendo anticuerpos específicos. Se trata de un mecanismo de autodefensa que forma parte de la respuesta inmunitaria. Una vez establecido el contacto con el antígeno, el sistema inmunitario es capaz de producir los anticuerpos tantas veces como sea necesario. Desafortunadamente para nosotros, cada cepa de *rhinovirus* posee unos antígenos particulares.

Con frecuencia, en una misma infección están presentes dos o más cepas de *rhinovirus*. Por esta razón, aunque podría pensarse que poseemos todavía anticuerpos procedentes de las defensas contra el virus del último resfriado, en realidad estamos enfrentados a nuevas cepas de virus, con las que el sistema inmunitario de nuestro organismo no ha estado nunca en contacto, y que serán capaces de provocarnos un nuevo resfriado.

Los *rhinovirus* no son capaces de multiplicarse fuera del cuerpo humano; pueden difundirse únicamente de persona a persona, por contacto directo. Para ello, las partículas virales expulsadas con el estornudo de la persona que padece el resfriado deben ser inhaladas por la persona sana antes de que se sequen en contacto con el aire. Cuanto mayor sea el hacinamiento, más numerosos serán los portadores del virus que esparzan por el ambiente las gotitas llenas de partículas virales, y menor será la distancia que estas últimas deberán recorrer para infectar a una nueva víctima. Además, incluso un individuo que no presenta todavía los síntomas puede ser portador de partículas virales y esparcirlas en el aire. Es, por tanto, arriesgado permanecer en ambientes hacinados durante las estaciones características del resfriado. En efecto, la proximidad física entre grupos de personas es uno de los modos de transmisión del resfriado.

Cuándo se enferma más fácilmente El hacinamiento no es la única causa de una epidemia de resfriado. Hay individuos más susceptibles que otros a la enfermedad. Si la cepa viral es nueva para las personas expuestas al contagio, éstas serán más vulnerables.

La resistencia al resfriado depende principalmente de las condiciones físicas del individuo. Una alimentación carente de proteínas y de vitaminas A, B, C y D puede debilitar las defensas naturales. El sistema inmunitario y los otros mecanismos de autodefensa pueden fracasar a causa del *stress*, de la fatiga, por una in-



Aparte del ácido acetilsalicílico y de los *sprays* nasales, el resfriado se trata mediante la ingestión de vitamina C a través de cítricos o de preparados farmacéuticos. La terapéutica del resfriado es habitualmente sintomática, como sucede con el resto de las enfermedades virales.

Diagnóstico	Adultos (61)	Niños (31)	Adultos voluntarios con inoculación nasofaríngea del virus del resfriado (31)
resfriado común	58 (95%)	14 (44%)	26 (84%)
bronquitis	1 (2%)	7 (23%)	2 (6%)
bronquiolitis		3 (9%)	
bronconeumonitis		3 (9%)	
ninguna enfermedad	2 (3%)	4 (12%)	3 (10%)

disposición o por una herida, incluso por sensibilidad o alergia. A menudo se recomienda combatir el resfriado con grandes dosis de vitamina C, pero no existen pruebas seguras que muestren su eficacia. La vitamina C no puede ser almacenada en nuestro organismo y la cantidad en exceso se elimina por vía urinaria: por lo tanto una dosis normal sería suficiente para nuestras necesidades.

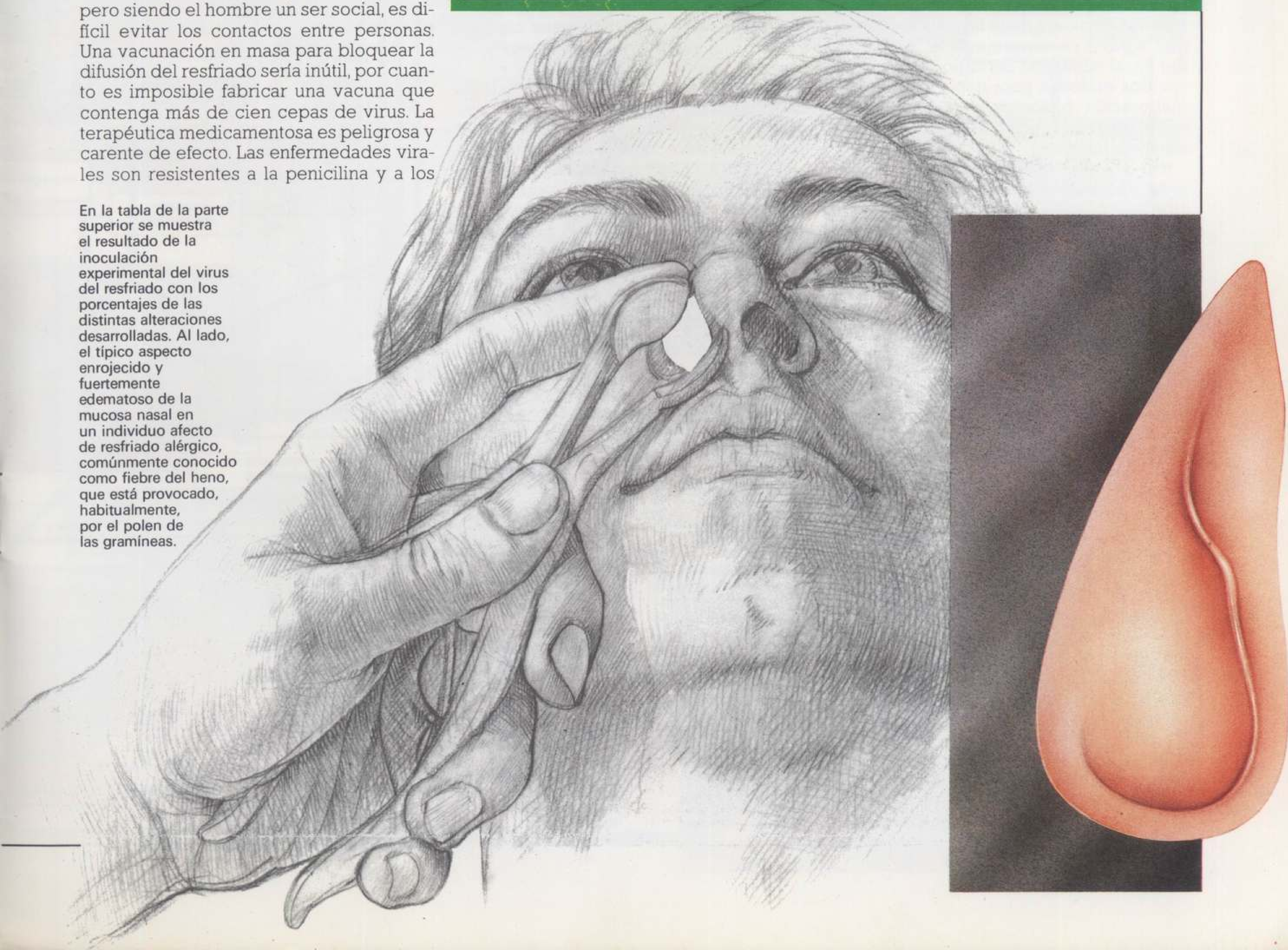
Prevención Resulta imposible prevenir el resfriado. Es preciso mantener un buen estado de salud y de resistencia; pero siendo el hombre un ser social, es difícil evitar los contactos entre personas. Una vacunación en masa para bloquear la difusión del resfriado sería inútil, por cuanto es imposible fabricar una vacuna que contenga más de cien cepas de virus. La terapéutica medicamentosa es peligrosa y carente de efecto. Las enfermedades virales son resistentes a la penicilina y a los otros antibióticos. Estos últimos modifican el equilibrio bacteriano del organismo y pueden debilitar las condiciones de salud si se administran para el tratamiento de un resfriado común.

Cómo curarse Una vez inhalado el virus, es imposible curar el resfriado o al menos abreviar la duración del trastorno. El tratamiento más lógico consiste en la administración, en los casos más molestos, de fármacos que controlen los síntomas y permanecer en la cama con calor. Aparte de esto, lo único que puede hacerse es esperar que pase.

Véase **Gripe; Virus**

Características principales de los *Picornavirus*

dimensiones	270-300 Å
morfología	icosaédrica
capsómeros	probablemente 32
ácido nucleico	ARN de cadena sencilla
estabilidad a temperatura ambiente	relativamente estables
estabilidad a pH = 3,0	*Enterovirus* estable *Rhinovirus* lábil
estabilidad a 50 °C	*Enterovirus* relativamente lábil *Rhinovirus* relativamente estable



En la tabla de la parte superior se muestra el resultado de la inoculación experimental del virus del resfriado con los porcentajes de las distintas alteraciones desarrolladas. Al lado, el típico aspecto enrojecido y fuertemente edematoso de la mucosa nasal en un individuo afecto de resfriado alérgico, comúnmente conocido como fiebre del heno, que está provocado, habitualmente, por el polen de las gramíneas.

Residuos, eliminación

Cuando abrimos el grifo del agua siempre esperamos encontrarnos con un chorro de líquido limpio y puro. Hoy en día se da por descontada la existencia de agua limpia en la mayor parte de los países industrializados, pero casi nunca solemos preguntarnos qué sucede con los desechos que salen a través de los tubos de desagüe y de los baños. Evidentemente, estos productos de desecho deben ser eliminados del sistema, de otra manera contaminarían las aguas de los ríos, lagos, acuíferos y embalses, y convertirían el agua potable en antihigiénica, maloliente y llena de sedimentos.

La historia Durante mucho tiempo existió una total despreocupación por la eliminación de los desperdicios. Puesto que las cuencas de agua se consideraban lugares idóneos para depositarlos, la mayor parte de las sociedades primitivas los descargaban en los ríos y arroyos, dejando así a la actividad bióloga de degradación la tarea de demoler y neutralizar el material de desecho. Pero cuando se desarrollaron las primeras ciudades y las poblaciones aumentaron, surgieron las primeras dificultades. Los residuos orgánicos se convirtieron en un problema público y en un peligro para la salud, puesto que a menudo los desperdicios eran arrojados a la misma calle. La contaminación química derivada de la Revolución Industrial agravó posteriormente el problema. Por fin, al comienzo del siglo XIX, se idearon dos métodos para tratar los lodos: la elaboración biológica y la elaboración química, que todavía hoy se utilizan como sistemas básicos.

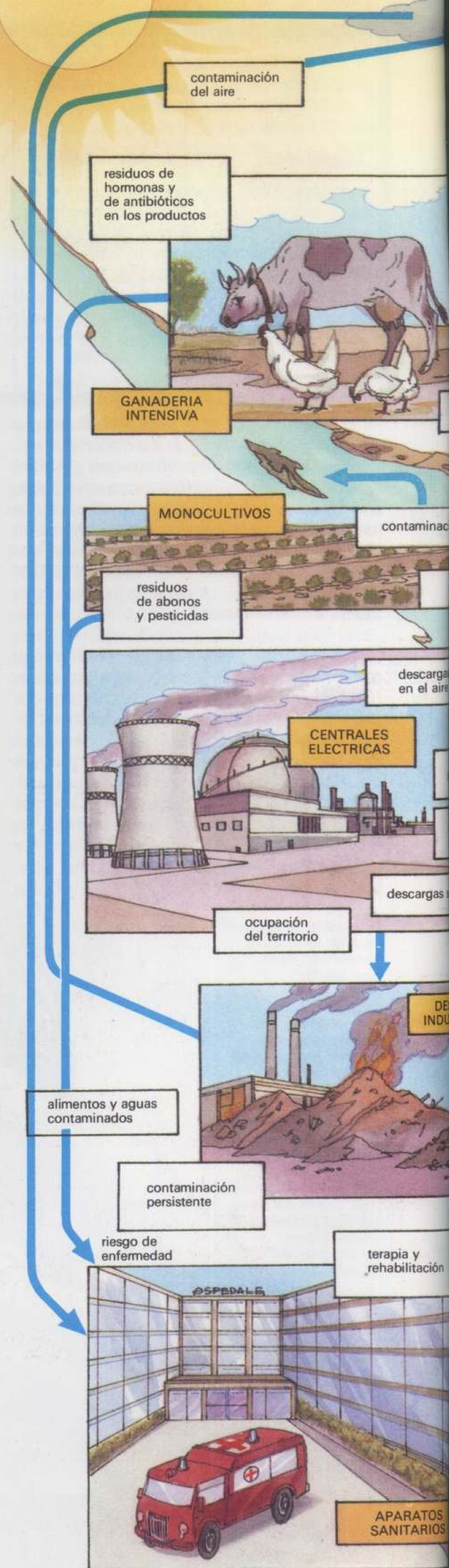
La elaboración biológica La elaboración biológica fue, y sigue siendo aún hoy, el primer método eficaz para la purificación de los lodos. Los científicos descubrieron, al comienzo del siglo XIX, que el terreno contenía bacterias útiles a este fin. En efecto, se trataba de organismos capaces de transformar los desperdicios en productos no nocivos, útiles como fertilizantes; de este modo se empezó a utilizar el lodo húmedo para regar el terreno de cultivo. Las "granjas de lodos", nombre dado a las fincas que trataban sus terrenos con lodos residuales, resultaban útiles para eliminar determinadas cantidades de desecho, pero no conseguían satisfacer las crecientes exigencias de unas poblaciones en continuo aumento. Cuando los científicos comprendieron mejor los mecanismos de la biodegradación, estuvieron en condiciones de mejorar las técnicas que se seguían en las "granjas de lodos". Esto condujo al desarrollo del filtro biológico, un primer paso hacia las modernas instalaciones de eliminación. El filtro biológico consiste en una gran cisterna rellena con un material poroso, generalmente carbón, que contiene colonias de bacterias. Cuando el lodo se vierte en la cisterna, las bacterias oxidan y neutralizan las sustancias nocivas, que se depositan en el fondo como sedimentos. Este sistema fue posteriormente mejorado con el descubrimiento, en 1916, del proceso de fango activo. Se sustituyó el carbón por una suspensión coloidal de lodo bactericida muy activo, que se mezclaba con el lodo bruto en depósitos proyectados al efecto. Se hacía pasar aire comprimido a través de la mezcla, aumentando así la eficacia de la acción bactericida. Después, se descargaba el agua limpia. Esta es la forma de elaboración biológica más difundida en la actualidad.

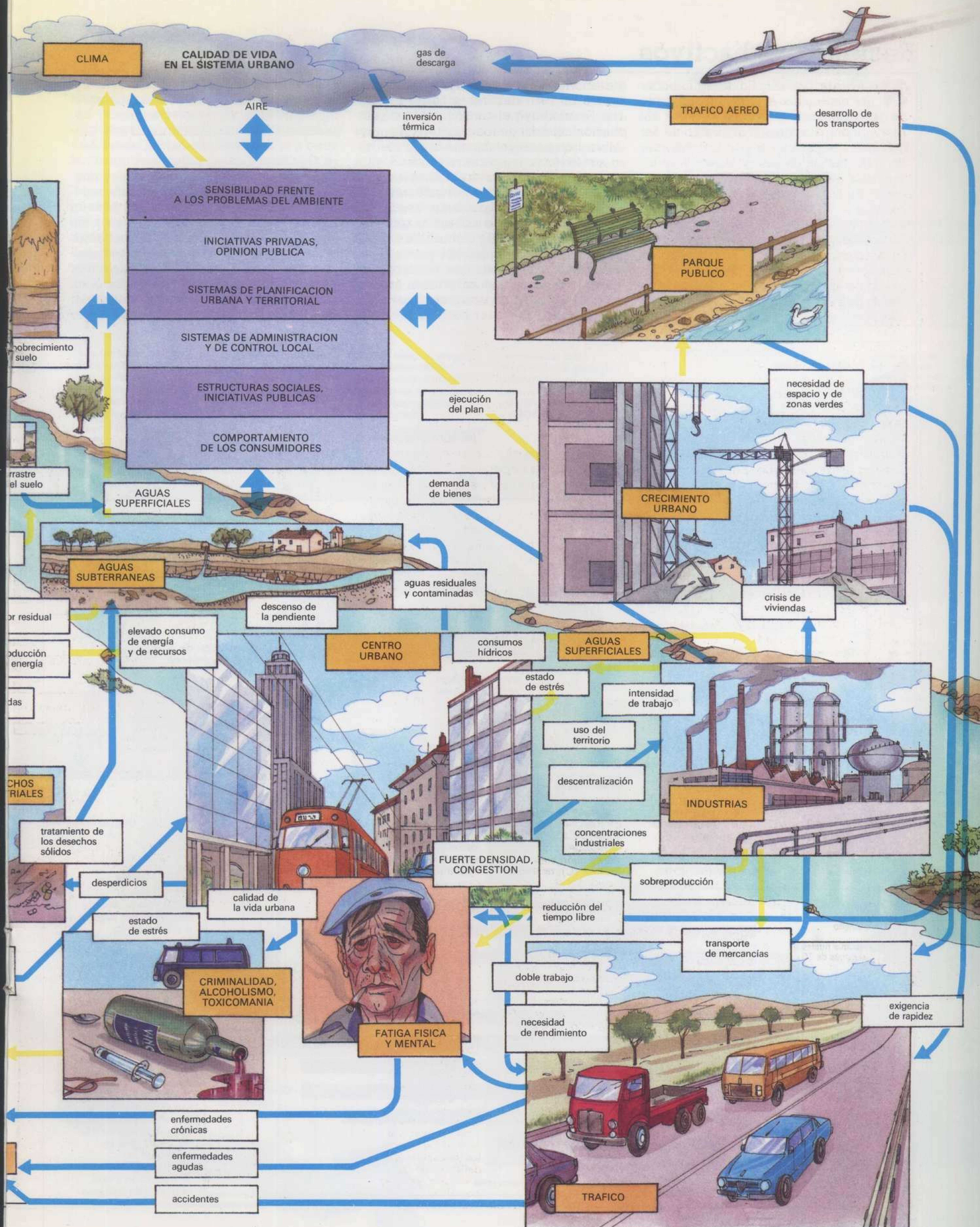
La elaboración química Los métodos para la elaboración química se desarrollaron paralelamente a los biológicos y hoy en día ambos suelen administrarse juntos. Los primeros sistemas utilizaban la precipitación química. Un pequeña cantidad de sal de hierro o aluminio se añadía al lodo, luego se unía agua calcárea, oportunamente dosificada, que hacía aumentar el valor del pH. Esto producía la precipitación de los hidróxidos de hierro o aluminio, que se depositaban en el fondo junto a otras muchas impurezas. A pesar de ser inadecuado por sí solo, este método se reveló muy eficaz al usarse conjuntamente con el filtro biológico. Un desarrollo más reciente en la elaboración química es la instalación de hidratación. El fango húmedo se desodoriza y se hace más denso mediante reacciones químicas; luego se deshidrata hasta constituir unos bloques sólidos, que se entierran o se queman.

Instalaciones La instalación moderna combina todas estas técnicas con esquemas y filtros mecánicos que eliminan el material de desecho que más estorba. Estos aparatos consiguen generalmente purificar el agua en un 90%. En algunas instalaciones nuevas, el lodo se transforma en subproductos útiles, como gas metano, combustibles alternativos, etcétera.

Véase **Agua, depuración**

Este modelo de sistema analiza las complejas interacciones existentes en el ámbito de una ciudad y entre la ciudad misma y su entorno. Como es evidente, se trata de un conjunto de relaciones estrictamente conectadas, en que cada intervención resulta difícil de practicar sin determinar efectos que tengan repercusión sobre todo el sistema. El consumo de energía necesaria para mantener un nivel de vida adecuado en la ciudad es muy elevado e implica, al mismo tiempo, una producción enorme de desechos. Estos, a su vez, deben ser eliminados para no dañar la salud del hombre. Por otra parte, el proceso de eliminación de desechos requiere otro consumo de energía, métodos y tecnologías apropiados, con el fin de evitar ulteriores desequilibrios ambientales. El empleo de energía nuclear determina la producción de escorias radiactivas, difícilmente eliminables, pero también la utilización de carbón, como fuente de energía térmica, presenta efectos negativos sobre el ambiente: contaminación atmosférica que se mide como tasa de dióxido de carbono. El problema de los desechos es, por lo tanto, muy complejo, y hay que enfrentarlo teniendo en cuenta los distintos efectos derivados de las distintas elecciones energéticas.

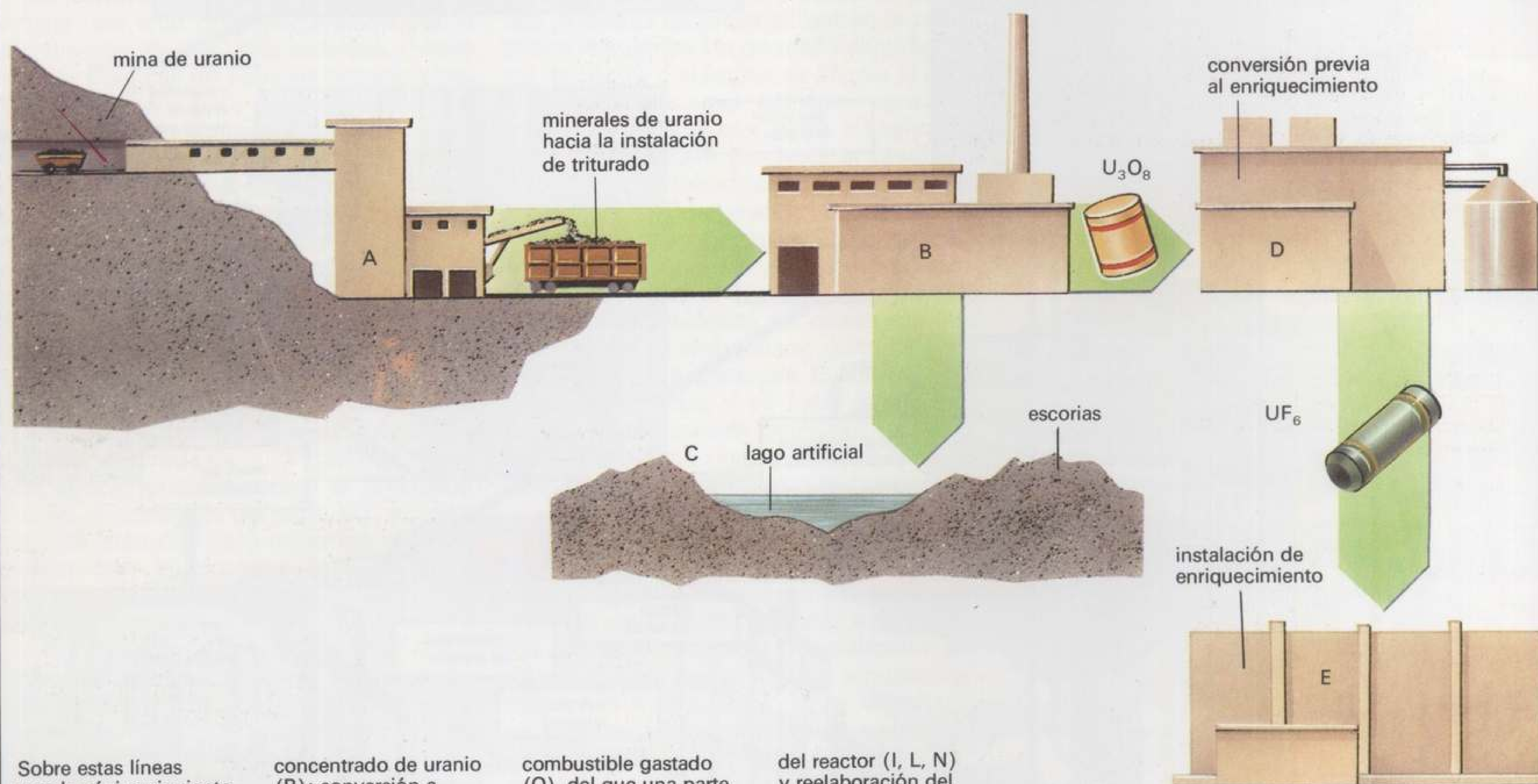



CLIMA
CALIDAD DE VIDA EN EL SISTEMA URBANO
gas de descarga
TRAFICO AEREO
desarrollo de los transportes
AIRE
inversión térmica
SENSIBILIDAD FRENTE A LOS PROBLEMAS DEL AMBIENTE
INICIATIVAS PRIVADAS, OPINION PUBLICA
SISTEMAS DE PLANIFICACION URBANA Y TERRITORIAL
SISTEMAS DE ADMINISTRACION Y DE CONTROL LOCAL
ESTRUCTURAS SOCIALES, INICIATIVAS PUBLICAS
COMPORTAMIENTO DE LOS CONSUMIDORES
PARQUE PUBLICO
ejecución del plan
necesidad de espacio y de zonas verdes
demanda de bienes
CRECIMIENTO URBANO
crisis de viviendas
AGUAS SUPERFICIALES
AGUAS SUBTERRANEAS
aguas residuales y contaminadas
descenso de la pendiente
elevado consumo de energía y de recursos
CENTRO URBANO
consumos hídricos
AGUAS SUPERFICIALES
estado de estrés
intensidad de trabajo
uso del territorio
descentralización
INDUSTRIAS
concentraciones industriales
FUERTE DENSIDAD, CONGESTION
sobreproducción
tratamiento de los desechos sólidos
desperdicios
calidad de la vida urbana
estado de estrés
reducción del tiempo libre
transporte de mercancías
CRIMINALIDAD, ALCOHOLISMO, TOXICOMANIA
doble trabajo
necesidad de rendimiento
exigencia de rapidez
FATIGA FISICA Y MENTAL
enfermedades crónicas
enfermedades agudas
accidentes
TRAFICO

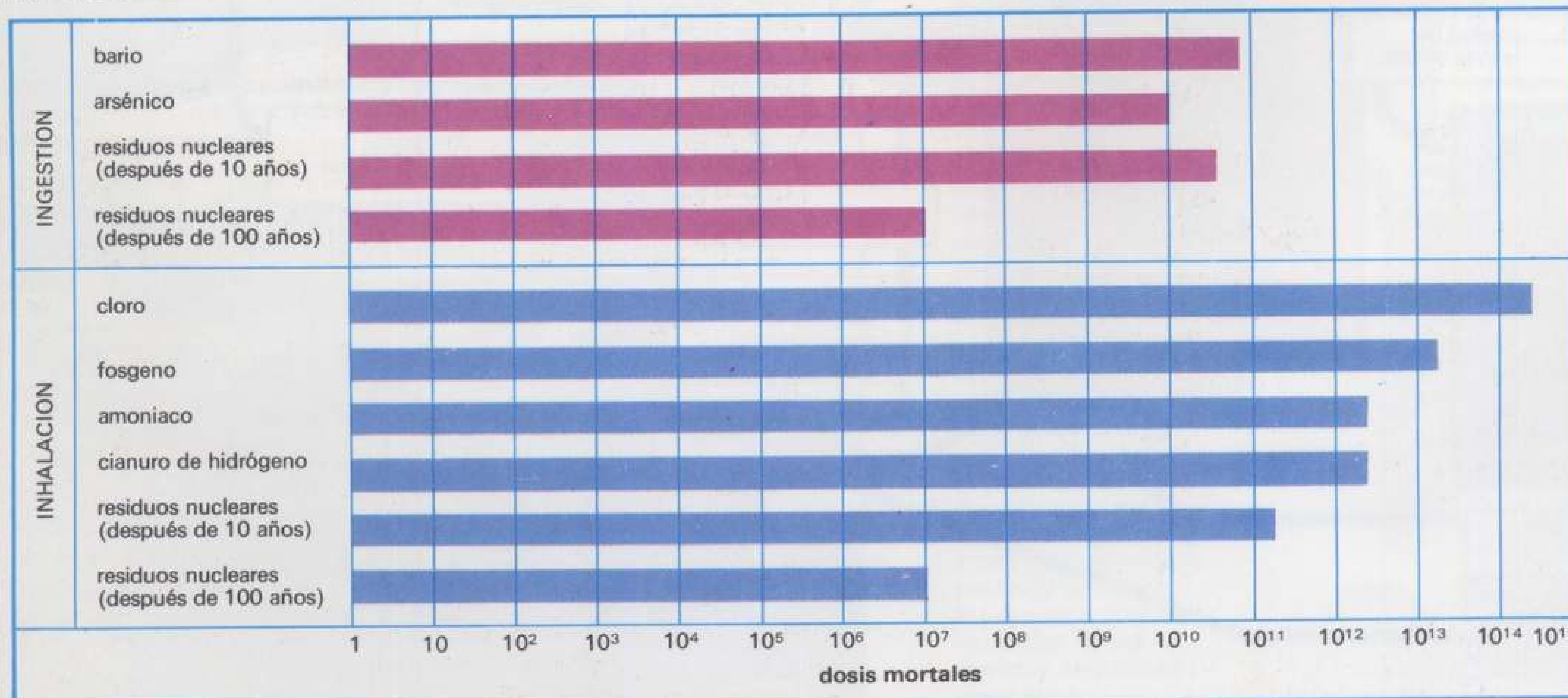
Residuos radiactivos

No existen, por ahora, medios capaces de neutralizar el carácter radiactivo de las sustancias que lo poseen. De ahí que la manipulación y tratamiento de los residuos radiactivos finales procedentes de la utilización de radioisótopos y de los procesos del ciclo del combustible nuclear para reactores nucleares deben plantearse a partir de un debilitamiento radiactivo de los mismos durante un tiempo suficiente, del blindaje adecuado para su manipulación y del confinamiento en condiciones suficientemente seguras, tanto para los almacenamientos temporales como definitivos. Aun así, una característica peculiar de la radiactividad en comparación con el resto de contaminantes químicos convencionales es su caducidad, frente a la permanencia de estos últimos. Los isótopos radiactivos de vida corta desaparecen durante su primer almacenamiento temporal, mientras los más duraderos, procedentes de la irradiación del uranio en los reactores nucleares, pueden durar aproximadamente trescientos años. Unicamente los elementos transuránidos formados en el combustible nuclear después de su irradiación permanecen durante muchísimo tiempo, pudiendo rebasar incluso los diez mil años, si bien en este caso las cantidades son realmente muy bajas.

La Naturaleza posee una extraordinaria capacidad de absorción de toda clase de residuos, y el siguiente ejemplo lo demuestra. En un yacimiento de uranio próximo a la localidad de Oklo (Gabón, Africa Occidental), tuvo lugar, hace unos mil setecientos millones de años, un fenómeno geológico natural similar al de la reacción de fisión en cadena que ocurre en un reactor nuclear, que duró unos cien mil años. Los elementos estables procedentes de los residuos radiactivos que se originaron entonces permanecen allí sin haber emigrado de su emplazamiento. Pero, en la época actual, y debido al uso industrial de la radiactividad, nuestra sociedad sólo



Sobre estas líneas y en la página siguiente, el ciclo completo del combustible nuclear utilizado en los reactores nucleares, con el detalle de todas sus fases: extracción de mineral (A); preparación del concentrado de uranio (B); conversión a hexafluoruro de uranio (D) para su enriquecimiento (E y F) y fabricación de combustible (G); utilización en el reactor (H), y reprocesamiento del combustible gastado (O), del que una parte es reutilizado (Q). A lo largo del ciclo, las diferentes clases de desechos gaseosos, líquidos y sólidos, se producen en la preparación del mineral (C), operación del reactor (I, L, N) y reelaboración del mismo (P, R, S). Los residuos sólidos finales del proceso, una vez que han sido debidamente encapsulados, son almacenados definitivamente (T, U).



A la izquierda, comparación entre la nocividad por ingestión e inhalación de algunas sustancias químicas frente a los residuos nucleares de más alta actividad. Si se han extraído los transuránidos emisores alfa en el procesamiento del combustible irradiado, la nocividad de los residuos nucleares resultantes, que decrece con el tiempo por desintegración radiactiva, llegaría a ser, en unos trescientos años, equivalente a la del uranio que se extrajo de la Naturaleza para su utilización y que originó tales residuos.

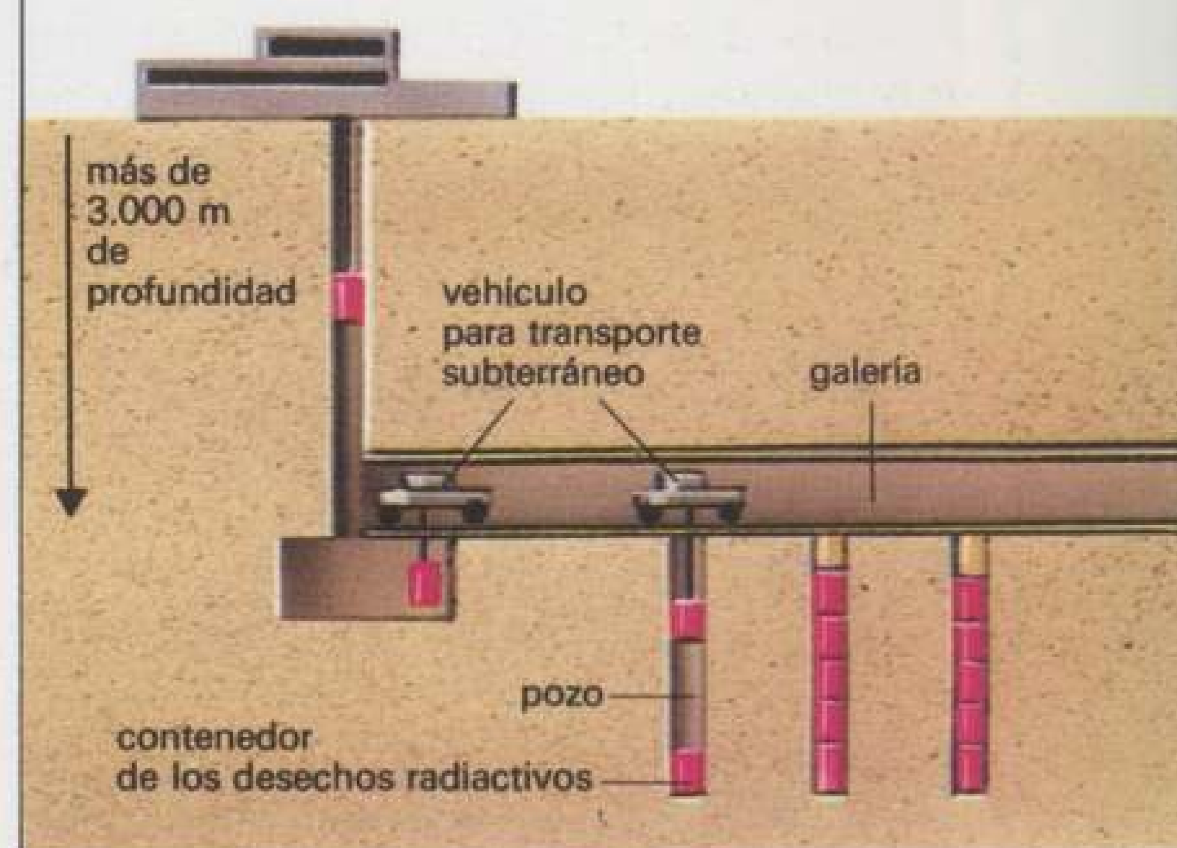
puede plantearse el tratamiento de los residuos basándose en la aplicación de los métodos tecnológicos modernos que garanticen definitivamente su mínima o nula incidencia en los ecosistemas.

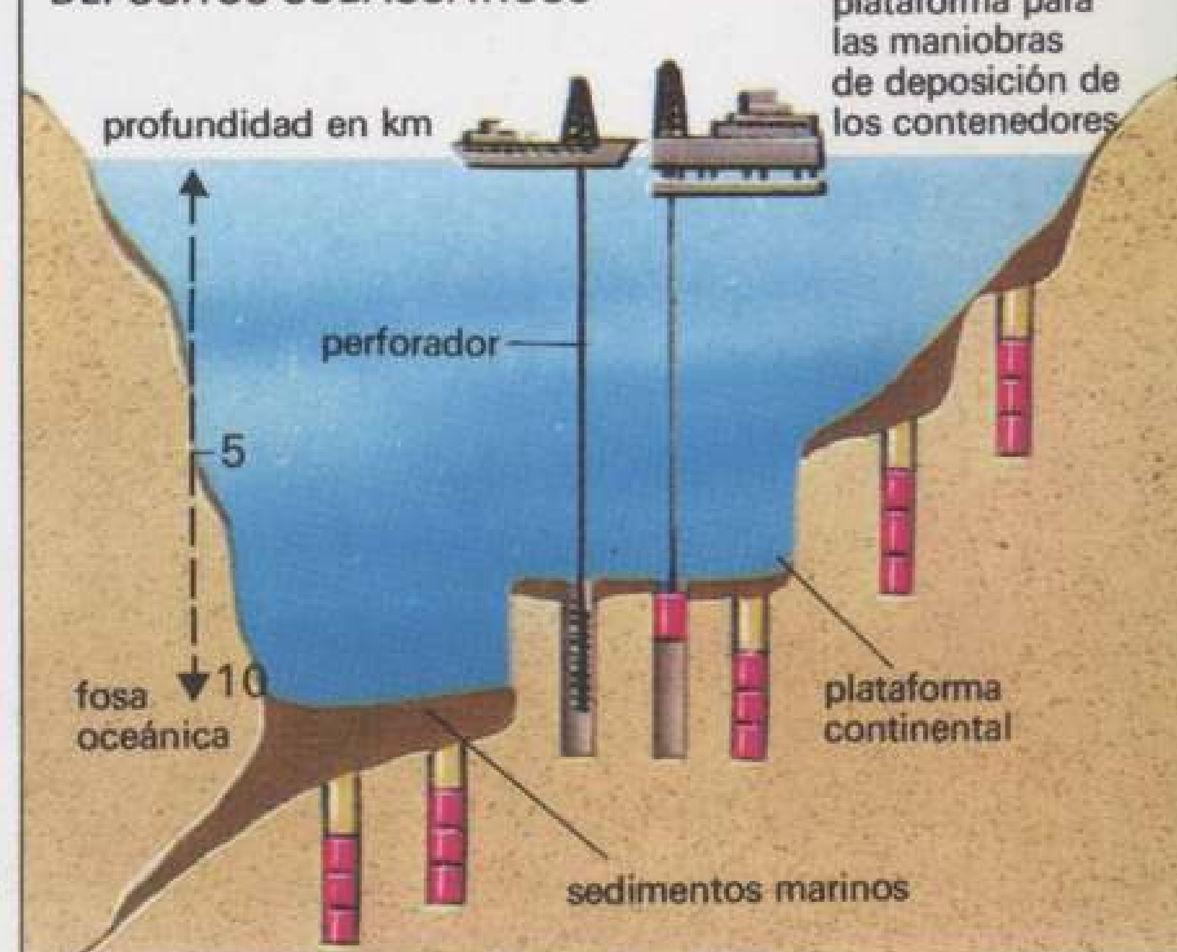
Con este objetivo, todos los países partícipes en programas nucleares tienen actualmente en perspectiva, o en vías más o menos avanzadas de desarrollo o adopción, tanto la metodología técnica aplicable a la preparación de las diferentes clases de residuos radiactivos, como la búsqueda y acondicionamiento de emplazamientos adecuados que permitan almacenar por tiempo indefinido residuos de media o larga duración.

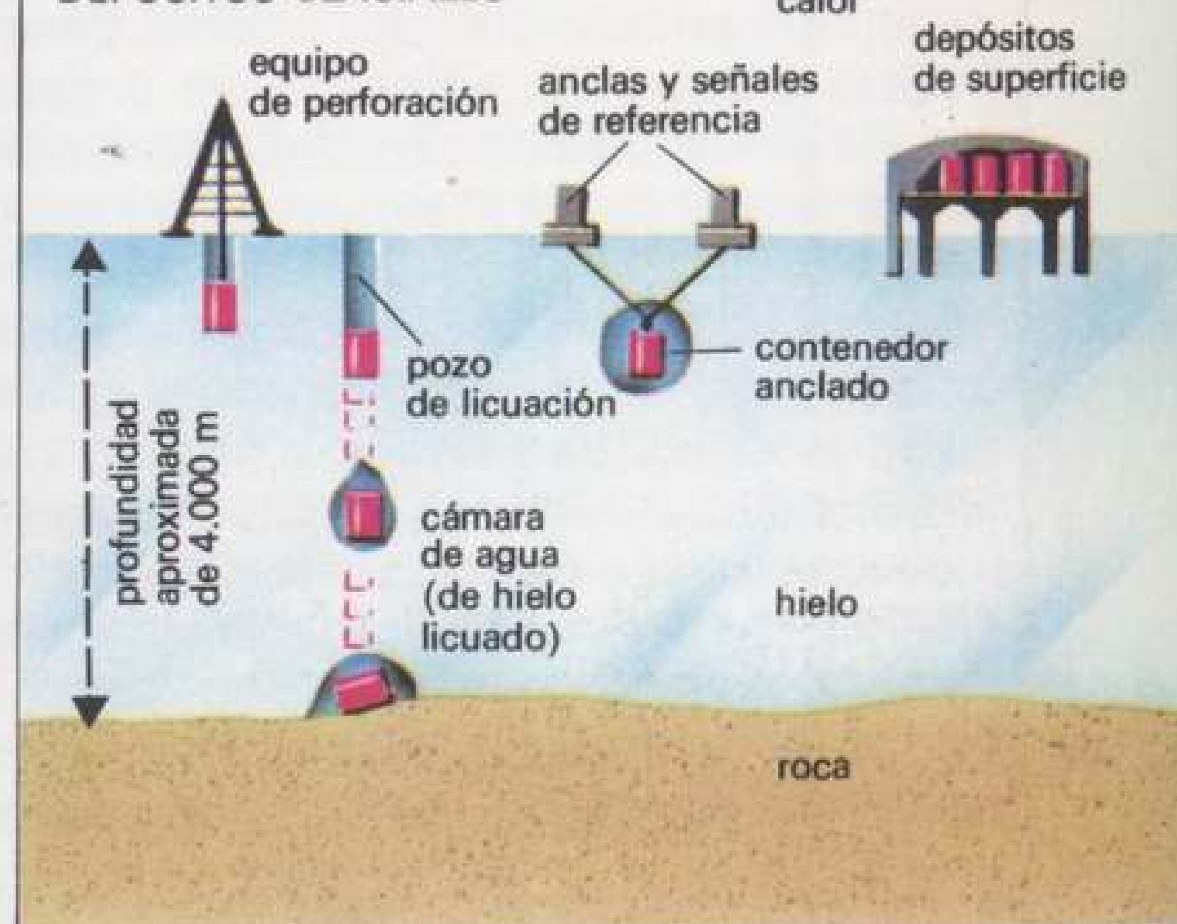
Características de los residuos La producción de residuos radiactivos es muy variada, y sus características, heterogéneas. Así, la utilización de radioisótopos en la industria, la investigación y la medicina da lugar a residuos que consisten en fuentes radiactivas de desecho, material de cura, líquidos orgánicos o, incluso, cadáveres de animales. La mayoría de los isótopos utilizados en estos casos son de corta vida.

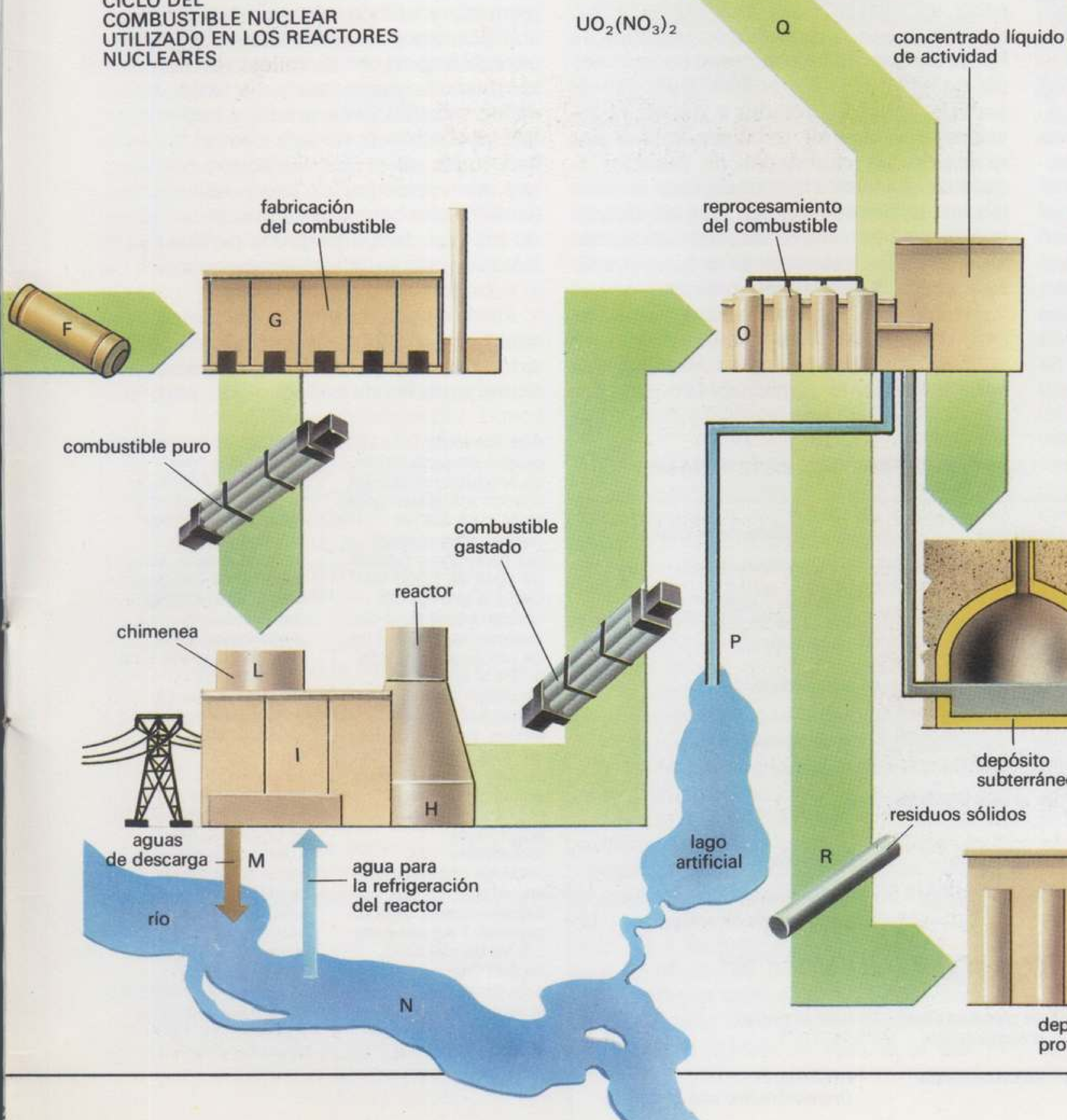
La extracción del uranio del mineral de origen produce grandes cantidades de residuos, tanto en volumen como en extensión (unas quinientas toneladas por cada tonelada de uranio extraído), dada la gran

A la derecha, esquemas de diferentes propuestas para el almacenamiento definitivo de residuos radiactivos: en minas subterráneas (arriba), en perforaciones bajo depósitos marinos profundos (centro) y en zonas glaciales de hielo permanente (abajo). En este último caso, el propio calor desarrollado por el residuo licuaría el hielo de su alrededor, abriéndose camino hasta quedar depositado; pero no existe una garantía geológica total de inmovilidad de las masas de hielo a muy largo plazo.









cantidad de mineral que debe ser lixiviado (lavado del mineral triturado con el disolvente adecuado) para la obtención del concentrado de uranio. Sin embargo, su actividad específica —consistente básicamente en la acumulación de radio y de sus descendientes naturales, entre ellos el gas radón— no es excesiva, y si previamente se elimina gran parte de la misma por dilución química para separar y concentrar el verdadero desecho radiactivo, las pilas residuales pueden acondicionarse *in situ* e incluso repoblarse con especies de vegetales adecuados.

Por último, los residuos radiactivos más significativos como tales son los de las centrales nucleares, si bien, dado el gran rendimiento energético de la fisión nuclear, las cantidades producidas, en peso y volumen, son mucho menos importantes que las de otros tipos de residuos industriales. De ellos, unos quedan ligados al combustible gastado y, por tanto, al posterior almacenamiento o reprocesamiento del mismo. Otros se presentan en forma de resinas o concentrados de los diferentes procesos operativos o consisten en desechos varios de utillaje, materiales metálicos de circuitos o indumentaria, etc. A todo esto habría que añadir los restos radiactivos del desmantelamiento de las centrales al término de su vida útil, una actividad que en los próximos veinte años se convertirá en rutinaria.

Todo ello hace que existan diversas clasificaciones técnicas de los residuos radiactivos, incluso distintas entre sí de unos países a otros. Sin embargo, en la práctica, y a efectos de un almacenamiento posterior a más largo plazo, se utiliza en general el criterio de considerar como *residuos de alta actividad* a los ligados al combustible irradiado y su reprocesamiento, y de *media* y *baja actividad*, clasificados en distintas categorías según su nivel de concentración de radiactividad o el de irradiación en sus proximidades, al resto de los residuos, excluyéndose los transuránidos emisores alfa, que, por sus características y nocividad específica, constituyen un grupo aparte. Paradójicamente, en los residuos de media actividad puede darse un contenido alto de radiactividad, pero la diferencia esencial con respecto a los de alta actividad estriba en su período de desintegración, significativamente más corto en los primeros.

Desde la dispersión en el ambiente hasta el almacenamiento definitivo Durante las operaciones rutinarias que se llevan a cabo en instalaciones radiactivas y nucleares se producen también residuos en forma líquida y gaseosa, como consecuencia de sus propios procesos. Después de ser retenidos, controlados y tratados convenientemente por debilitamiento o por retención, las cantidades de residuos líquidos o gaseosos que finalmente se vierten al ambiente son tan extraordinariamente pequeñas que su dispersión meteorológica o hidrológica los hace prácticamente indetectables (se estima que el impacto radiológico exterior que producen estos efluentes es similar al impacto, también radiológico, producido por una central térmica de carbón de la misma potencia, debido, en este último caso, a los componentes de uranio y torio radiactivos naturales que acompañan al carbón).

Por otra parte, los desechos líquidos radiactivos generados en las instalaciones nucleares se someten a uno o varios de los distintos procesos de precipitación, evaporación, filtración, centrifugación e intercambio iónico específico, quedando como final del proceso un residuo concentrado que, incorporado a una matriz de cemento, asfalto o polímeros plastificados, se solidifica. Si a estos residuos se añaden los desechos varios de materiales, indumentaria y utillaje, que pueden ser tratados por compactación, trituración o incineración para reducir su volumen, se completa la panorámica de residuos radiactivos sólidos de media y baja actividad procedentes de una central nuclear. Para todos ellos, una vez acondicionados, hay que contar con un tiempo de almacenamiento de cincuenta a trescientos años, en función de los períodos de sus radioisótopos más característicos, el cobalto-60, el estroncio-90 y el cesio-137.

Por último, el combustible que se consume en las centrales nucleares es el residuo de menor cuantía en volumen, pero de mayor nivel de radiactividad, constitui-

RESIDUOS DEPOSITADOS EN EL OCEANO ATLANTICO EN EL PERIODO 1967-1982

Período	Peso bruto (en tm) (con blindaje)	Radiactividad (en curios)		
		Alfa	Beta-Gamma	Tritio
1967 a 1973	32.530	2.800	75.000	(incluido en beta-gamma)
1974 a 1978	27.140	4.130	142.300	219.500
1979 a 1982	35.810	6.860	251.106	307.406
TOTAL	95.480	13.790	468.406	526.906

PRODUCCION ANUAL DE RESIDUOS RADIACTIVOS SOLIDOS PARA 1.000 MW

Origen	Cantidad	Características
Fábrica de elementos combustibles	→ 30 m³ de compactados o cementados	para una carga anual de 30 tm de uranio
Reactor de agua de mil megavatios (PWR – BWR)	→ 250 m³ de compactados o cementados	baja actividad
	→ 50 m³ de compactados o cementados	media actividad
	→ 30 tm de uranio irradiado	
Planta de reelaboración	→ 270 kg de plutonio	70% fisionable
	→ 3 m³ de vitrificados	alta actividad y concentración, generadores de calor
	→ 40 m³ de compactados o cementados	media actividad
	→ 45 m³ de compactados o cementados	baja actividad
	→ 8 m³ de cementados	emisores α (transuránidos, con plutonio)

A la izquierda, cuadro de producción de residuos radiactivos sólidos acondicionados en el ciclo del combustible nuclear por cada año y central de agua de 1.000 MW. Dado el gran poder energético de la fisión nuclear (con sólo 3 tm de uranio enriquecido al 3% al año se producen más de 8.000 millones de kW/h), las cantidades de residuos originadas son significativamente menores que las debidas a otras actividades industriales. Los residuos radiactivos, en un país industrializado, pueden suponer 1 kg por cada 2,5 tm de residuos totales. Su peculiaridad es la radiactividad que poseen, que decrece lentamente con el tiempo: en los residuos de media y baja actividad, el 99% de la radiactividad total se da en el 10% de su volumen. El cuadro de la parte superior de esta página recoge los residuos que fueron depositados en el océano Atlántico entre 1967 y 1982. Bajo los auspicios y recomendaciones técnicas del Organismo Internacional de Energía Atómica, y sujetos posteriormente al Convenio de Londres para la prevención de la contaminación del mar, suscrito en 1972, algunos países europeos (Reino Unido, Bélgica, Holanda), han utilizado la fosa del noroeste atlántico (de 4.000 m de profundidad y situada →

do por fragmentos radiactivos de fisión y por elementos, como el plutonio y otros transuránidos, que se originan como consecuencia de la irradiación neutrónica del combustible. Si éste se reprocesa, operación que se realiza en plantas específicas distintas a las centrales nucleares, los residuos se obtienen en forma de concentrados líquidos, cuya inmovilización se consigue mediante la incorporación a materiales de tipo vitrificado, como el pyrex, que poseen una gran estabilidad (una corriente de agua caliente necesitaría cien años para disolver un milímetro).

En consecuencia, todos estos residuos sólidos, una vez acondicionados, son los que hay que considerar a efectos de un almacenamiento confinado, prolongado o definitivo; pero ¿cuál es, en el momento actual, la dimensión cuantificada del problema y su urgencia temporal?

Enfriamiento de los residuos radiactivos de alto nivel La radiactividad consiste en emisiones energéticas, y esta energía, al ser absorbida por la materia, genera cierta cantidad de calor. En el caso de los residuos de alta actividad, así como las concentraciones de mayor nivel de radiactividad del resto de los residuos, el calor producido es excesivo como para permitir su acumulación y se requiere una disipación controlada del mismo, un enfriamiento del residuo, hasta que su nivel, que decrece paralelamente al decaimiento de la radiactividad que los produce, llegue a unos valores lo suficientemente bajos como para que sea posible su almacenamiento. Este tiempo previo puede ser de veinte a cincuenta años para los residuos de alta actividad.

Además, las cantidades de residuos de este tipo son poco importantes (2 m^3 de alta actividad vitrificadora o 50 m^3, incluidos los contenedores, si no se reprocesa el combustible; y otros 50 m^3 de media actividad, por año y por central nuclear de 1.000 MW).

No existe pues una especial urgencia para la evacuación definitiva de estos residuos, pero sí una necesidad ineludible de prever tales almacenamientos, así como de definir los emplazamientos transitorios, dentro o fuera de los centros productores, y las condiciones de control de los residuos depositados en ellos. Las soluciones han de combinar en general la accesibilidad y control de los emplazamientos, pudiendo ir desde almacenamientos profundos inaccesibles hasta almacenamientos en superficie, controlando la inocuidad de sus depósitos.

Opciones de almacenamiento de los residuos radiactivos Los almacenamientos de residuos han de responder a unos criterios de confinamiento y seguridad que eviten todo contacto directo, o indirecto a través de su dispersión en el planeta, con las cadenas biológicas. Por una parte, el residuo ha de estar inmovilizado y con una contención o encapsulamiento adecuados. Por otra, las condiciones de estabilidad geológica de los almacenamientos elegidos para depositarlos han de garantizar una perdurabilidad de cientos o incluso hasta muchos miles de años según los casos.

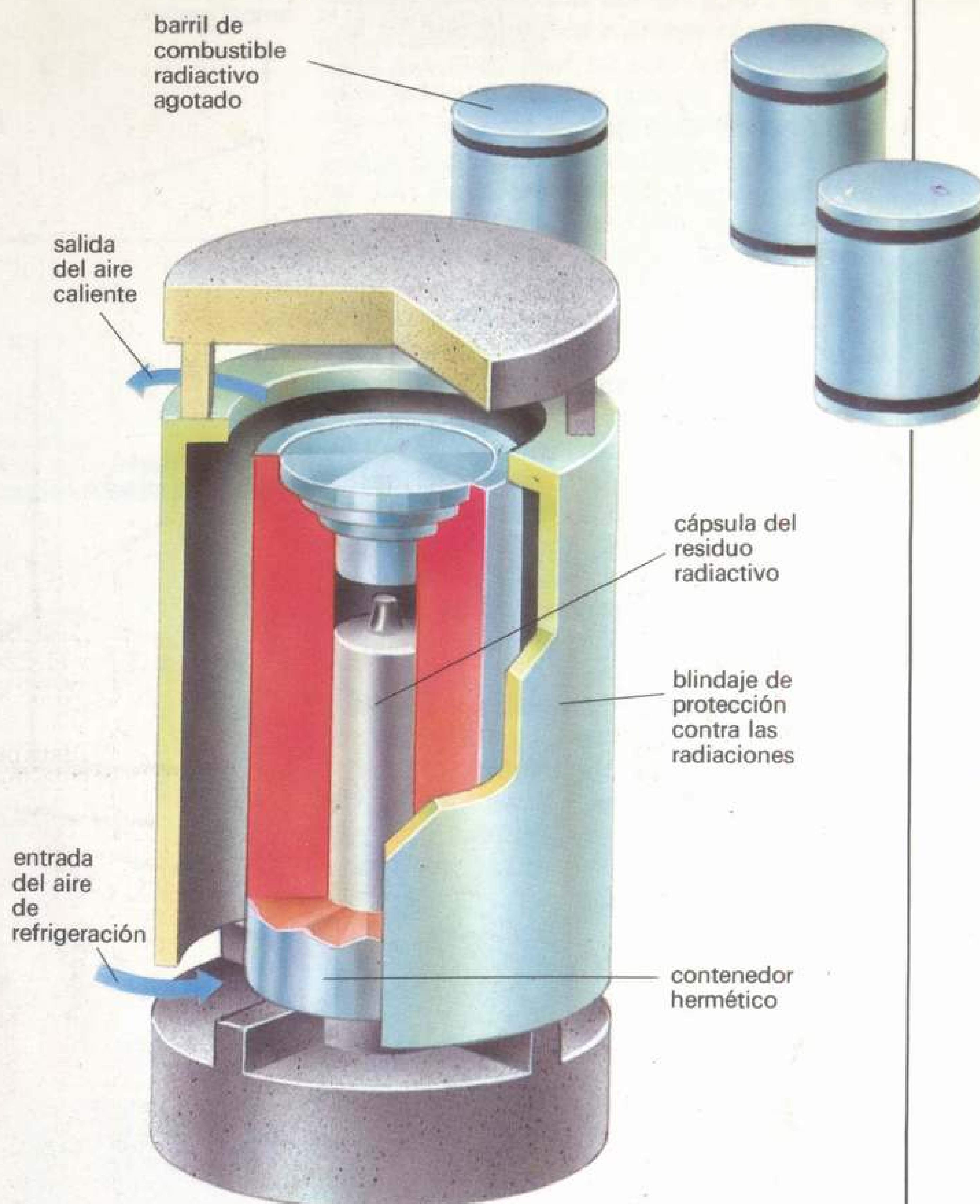
Los principales emplazamientos elegidos son minas subterráneas, o minas de sal, cuyos estudios geológicos garantizan una ausencia de agua mantenida durante miles de años, pero también pueden ser válidos los depósitos en formaciones rocosas profundas de basaltos, granitos, tobas y esquistos, cuyos pozos de acceso quedarían luego herméticamente cerrados. Asimismo, existen otras opciones, como la evacuación en perforaciones efectuadas en sedimentos subacuáticos de fondos oceánicos profundos, o la introducción de residuos en el interior de capas de hielo permanente de las zonas polares; incluso, se ha barajado la posibilidad de lanzar los residuos de mayor actividad y menor volumen al espacio exterior. Estas dos últimas opciones son las más problemáticas, y la última, en particular, sería de un coste muy elevado.

Sin embargo, los residuos de media y baja actividad pueden depositarse en enterramientos bastante más superficiales que cumplan todas las condiciones requeridas, o también en profundas fosas oceánicas.

En la actualidad existen minas experimentales en Alemania (antigua mina de sal de Asse a 750 m de profundidad) y en Estados Unidos (domo de sal a 600 m de profundidad y formación basáltica a 1.130 m). En Francia existe un almacenamiento en superficie para residuos de media y baja actividad en La Manche, con doce hectáreas de extensión y una capacidad de 300.000 m^3, y otro centro en desarrollo en Loire. Gran Bretaña mantiene enterramientos superficiales para residuos de baja actividad en Driggs y Dounreay. Con respecto a los residuos del combustible gastado, en Francia existe una planta de vitrificación en Marcoule, y en Estados Unidos y Gran Bretaña se estudia su almacenamiento prolongado, en seco, sin reprocesamiento. En general, en todos los países con programa nuclear se ha creado una empresa gestora encargada de prever el acondicionamiento técnico y buscar los almacenamientos transitorios o definitivos para sus residuos.

En cualquier caso, este tema tiene unas dimensiones cronológicas que trascienden a varias generaciones, y constituye uno de los elementos más característicos del legado de la era nuclear.

→ a 70 millas de las zonas europeas más próximas de Irlanda y España) para depositar residuos radiactivos de media y baja actividad. La capacidad radiactiva total de la fosa está sometida a las limitaciones técnicas establecidas. Las estimaciones del posible impacto radiológico de estos residuos en las comunidades pobladas costeras más próximas, calculado bajo la hipótesis de dispersión total de los residuos en el mar, no llegan en el caso máximo, al 0,5% de las dosis recibidas por la radiactividad natural. Actualmente, se está en fase de moratoria respecto a nuevos depósitos de residuos. A la derecha, un modelo de contenedor para la conservación del combustible irradiado no reutilizable en almacenamientos radiactivos. Ha de preverse la dispersión del calor generado durante varias decenas de años y evitarse las acumulaciones que podrían dar lugar a la masa crítica, lo cual se consigue mediante la simple limitación geométrica de las sustancias y volúmenes manejados.



Véase **Central nuclear; Combustible nuclear; Radioisótopos**

Resonancia

La primera noche que un turista duerme cerca de los bosques de Madagascar, se despierta a menudo por los terribles rugidos que se escuchan, tan potentes como los del rey de la selva. Sin embargo, en Madagascar no hay leones: el turista se sorprende notablemente al saber que esa imitación perfecta del león la produce un animalillo, el lemur, que pesa unos pocos kilos y no llega a tener un metro de altura. El ruido que produce este animal con la boca y la garganta da lugar a vibraciones del aire dentro de su caja torácica, produciendo así el terrible rugido. Este fenómeno, en el que el sonido se amplifica, es bastante complejo, pero se puede explicar a través de diversos ejemplos como parte de un fenómeno que recibe el nombre de *resonancia*, consistente en que una estructura vibratoria responde con gran amplitud a la imposición de una serie de vibraciones de cierta frecuencia.

Oscilaciones y resonancia Es fácil comprender lo amplia que es la categoría de los fenómenos resonantes si se empieza por los sistemas mecánicos simples. Un sistema muy simple es un columpio, que en Física se llama péndulo, es decir, una masa que cuelga sujeta con una barra o una cuerda. Si se deja libre, sin forzar ningún movimiento, se queda quieto en la posición vertical. Si se le empuja, oscilará hacia un lado y hacia el otro hasta que el roce de las sujeciones y del aire lo frene. Mientras oscila, se puede observar que el tiempo que tarda en ir de un lado al otro es siempre el mismo, tanto si las oscilaciones son grandes como si son pequeñas. Normalmente, para columpiarse, intervienen dos personas, una que se columpia y otra que impulsa el artefacto rítmicamente. Si la persona que empuja es lo suficientemente fuerte, puede asir la barquilla, alzarla hacia atrás el máximo posible, impulsarla después fuertemente y dejar que el columpio oscile. Esta operación requiere un gran aporte de energía inicial.

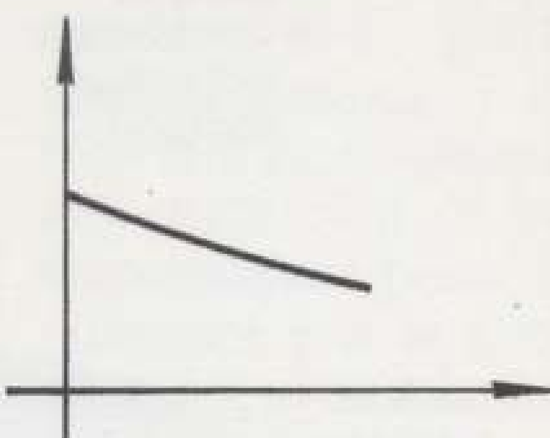
También es posible dar al principio un empujoncito, consiguiendo una pequeña oscilación. Después, cada vez que el columpio se aleja de quien empuja, se le da otro pequeño empujón para que aumente la oscilación y conseguir así que sea más amplia.

Al empujar el columpio con el primer método se ha tenido que utilizar mucha fuerza para obligar al columpio a oscilar. Se dice que se ha producido una *oscilación forzada*. En cambio, los pequeños empujones se han producido en armonía con la oscilación natural del columpio y, con poco trabajo, se ha obtenido una oscilación amplia. Se dice que las oscilaciones se han producido en *resonancia*.

La resonancia acústica Si en una habitación silenciosa donde hay un piano se lanza un grito, al quedar en silencio se puede oír que alguna cuerda del piano está vibrando, precisamente la cuerda correspondiente a la nota más cercana a nuestro grito, hasta la que han llegado las vibraciones del aire producidas por aquél. La vibración actúa sobre la cuerda del mismo modo que los empujones de la persona que movía el columpio. Por tanto, en este caso también se habla de resonancia, y en concreto, de *resonancia acústica*. La resonancia acústica se aprovecha en casi todos los instrumentos de música.

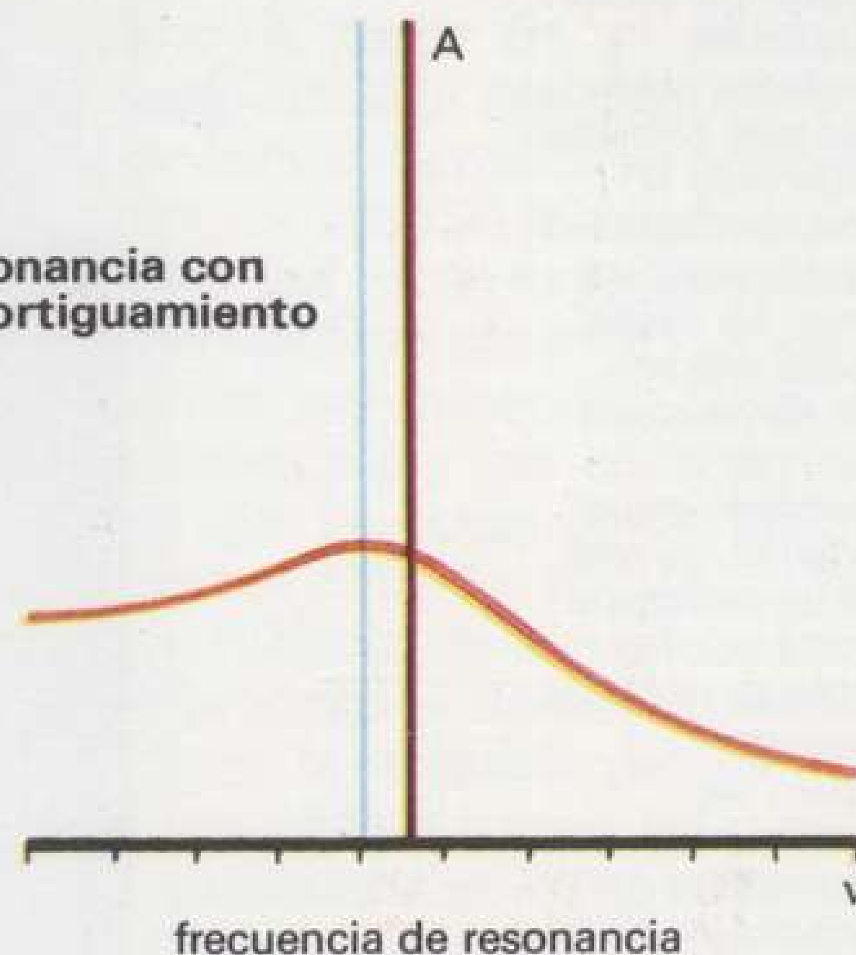
Por ejemplo, en un instrumento como la flauta el sonido se origina por el choque del aire contra un borde, que no produce un sonido, sino una especie de ruido. Este ruido contiene todas las frecuencias posibles y, por tanto, todas las notas musicales. Al propagarse por el interior de la flauta, pone en vibración la columna de aire,

diagrama de un movimiento amortiguado

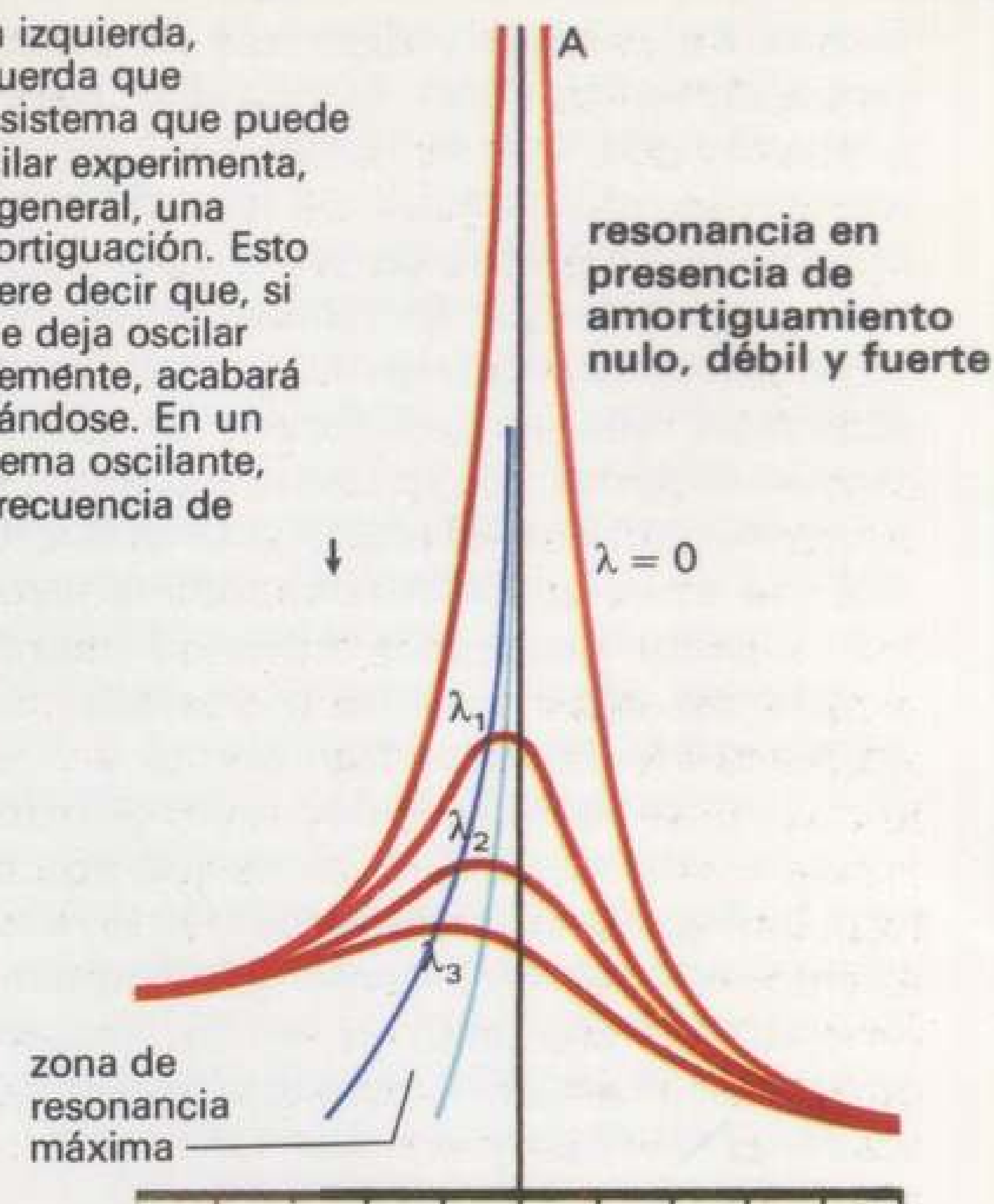


La resonancia es un fenómeno que se estudia en Mecánica, aunque es válido en otros muchos campos, como la Electricidad y la Física atómica y molecular. Los principios básicos de la resonancia están representados en estos esquemas. El primero, a la izquierda, recuerda que un sistema que puede oscilar experimenta, en general, una amortiguación. Esto quiere decir que, si se le deja oscilar libremente, acabará parándose. En un sistema oscilante, la frecuencia de resonancia depende del amortiguamiento. En el diagrama, a la izquierda de estas líneas, puede verse la variación de la amplitud con la frecuencia de la fuerza aplicada. Cuanto menor es el amortiguamiento (diagrama superior), más pronunciada es la resonancia.

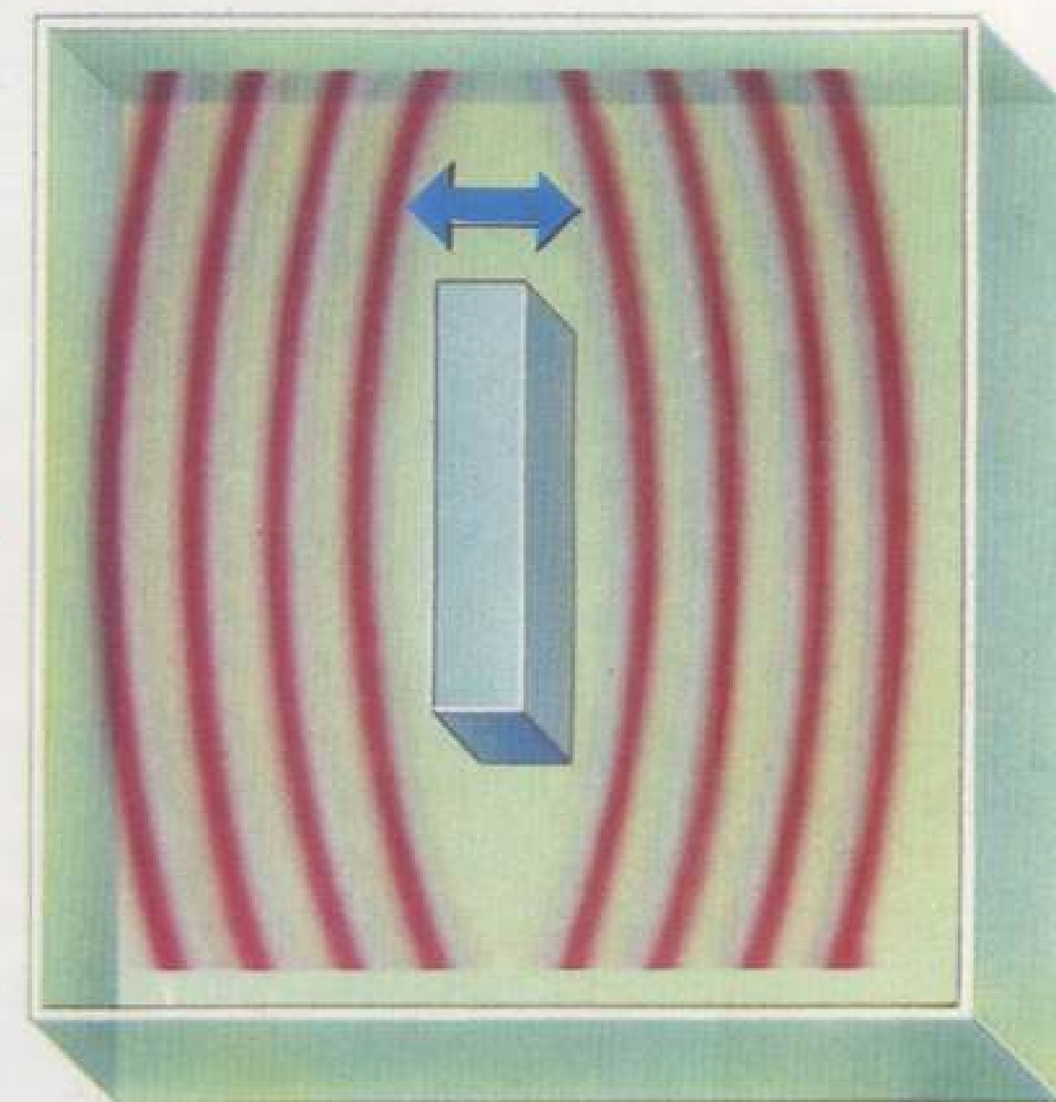
resonancia con amortiguamiento



resonancia en presencia de amortiguamiento nulo, débil y fuerte







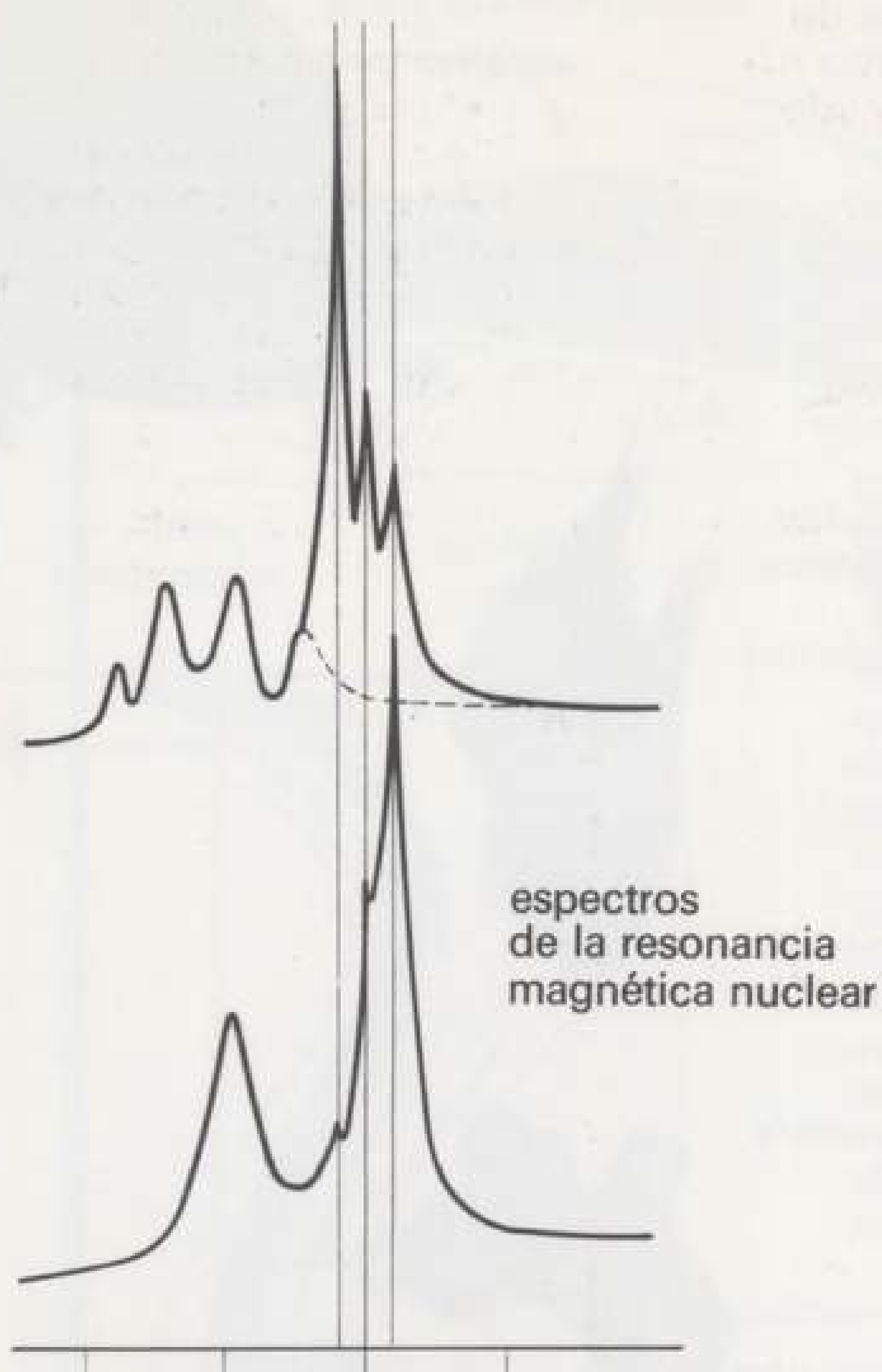
vibraciones en un líquido = acoplamiento fuerte (mucha energía cedida al fluido)

Cuanto menor es el amortiguamiento, mayor es la respuesta del sistema en la frecuencia de resonancia y en las frecuencias próximas a éstas. Cuando el sistema resonante se excita en una frecuencia distinta de la de resonancia, se obtiene una respuesta, pero ésta siempre es menor que la obtenida en la frecuencia de resonancia. El fenómeno de resonancia se encuentra en casi todas las ramas de la Física. Se observa siempre que un sistema es sometido a una acción externa que varía con el tiempo periódicamente. De los tres diagramas de arriba, el del centro representa el caso en el que hay un amortiguamiento: la amplitud en la resonancia ya no es infinita, sino simplemente superior a las amplitudes correspondientes a las demás frecuencias. Esto evidencia que en Acústica tiene mucha importancia la resonancia. Sin embargo, para que se produzca es necesario que exista un acoplamiento. Sobre estas líneas, en el centro de las dos páginas, y de izquierda a derecha, una pequeña lámina móvil situada en el aire genera un sonido débil, mientras que si la sumergimos en agua lo genera más fuerte. →

pero la frecuencia de vibración de esa columna depende de su longitud. Tapando y destapando los distintos agujeros, se puede variar la longitud de la columna de aire. Por este motivo, cada agujero se corresponde con una nota distinta.

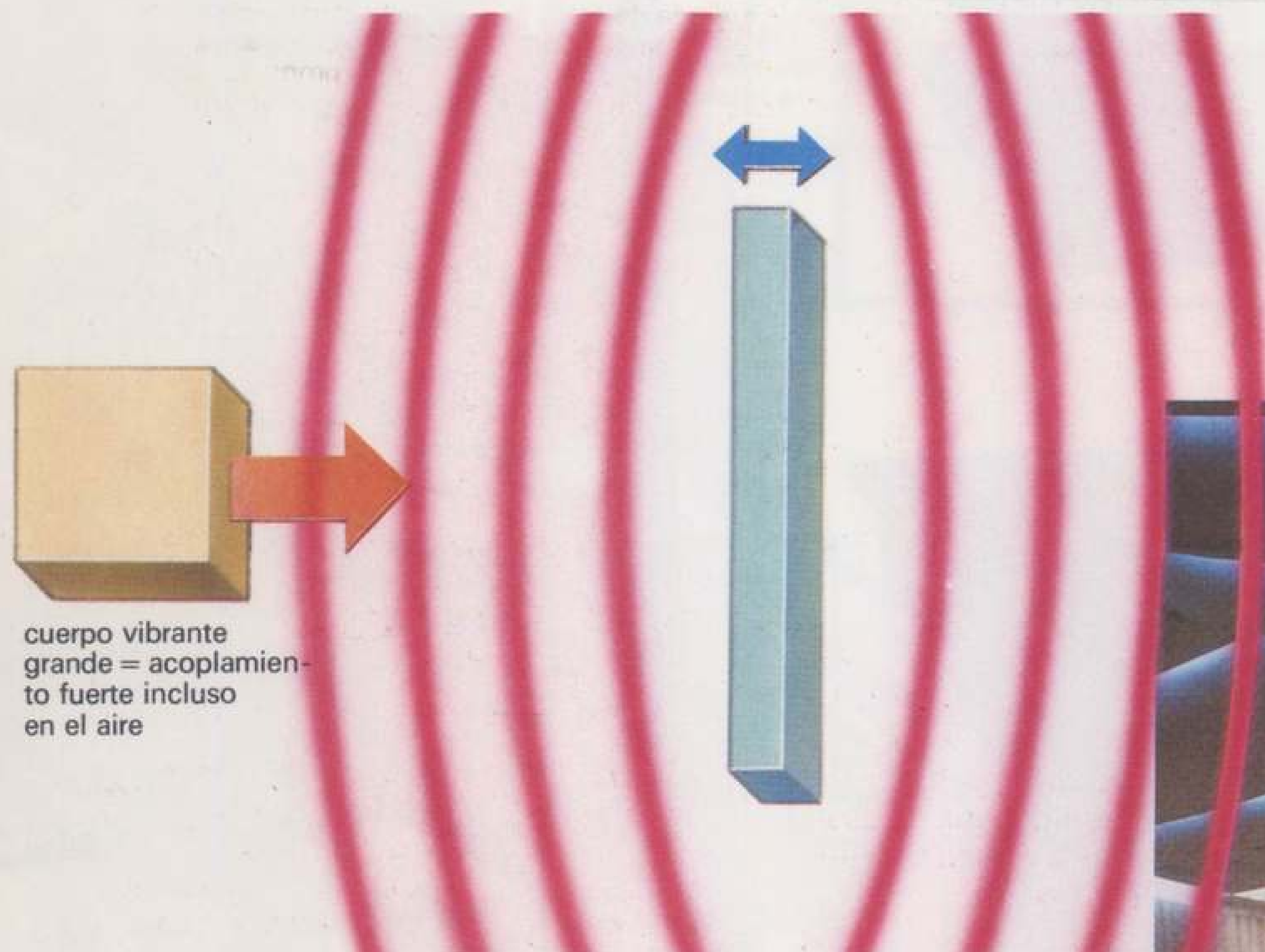
Es interesante observar que la intensidad del ruido producido por el aire es baja en comparación con la de la nota obtenida por resonancia, que es muy fuerte.

En el caso de un instrumento musical (de la flauta, de instrumentos de cuerda, etc.) la resonancia no crea energía, sino simplemente permite que la energía que introduce el soplido en el tubo se transforme, toda ella, en sonido, ya que de otra forma se perdería como energía de movimiento en el aire y atravesaría el tubo sin producir efectos musicales. En muchos otros instrumentos musicales la resonancia se aprovecha para obtener resultados análogos.



Los dos gráficos de la izquierda reproducen la ley de vibración de grupos de moléculas orgánicas cuando se someten a un campo magnético variable y se intenta ver su respuesta por medio de un transductor sensible.

Otros fenómenos de resonancia Las oscilaciones de una gran construcción,



como un rascacielos, un puente, un techo volado, pueden entrar en resonancia como consecuencia de ligeros movimientos sísmicos, provocando su destrucción. Los ingenieros y arquitectos deben conocer las frecuencias de resonancia de los edificios para evitar que coincidan con alguna de las frecuencias utilizadas normalmente. Los físicos nucleares también saben que la misteriosa estructura del núcleo del átomo puede resonar como respuesta a los choques con partículas atómicas. El estudio de estas resonancias nos es de gran ayuda para comprender las posibles estructuras que se encuentran en el interior del núcleo e incluso las de las partículas que lo componen. El concepto y las aplicaciones de la resonancia están mucho más extendidas de lo que pudieron prever los primeros estudios, llevados a cabo hace más de dos siglos.

Véase **Acústica; Sonido**

→ Arriba, la lámina de la página anterior, que generaba poca intensidad sonora en el aire porque era pequeña, aparece aquí aumentada: imprimiéndole la misma fuerza, transmite al aire mucha más energía sonora. Las cuerdas de un violín, solas en el aire, emitirían un sonido muy débil. El cuerpo del instrumento está hecho para vibrar con las cuerdas y transmitir así el sonido al aire. La caja tiene que resonar a todas las frecuencias que producen las cuerdas. Una sala de conciertos debe poder evitar distorsiones y conseguir un buen sonido.

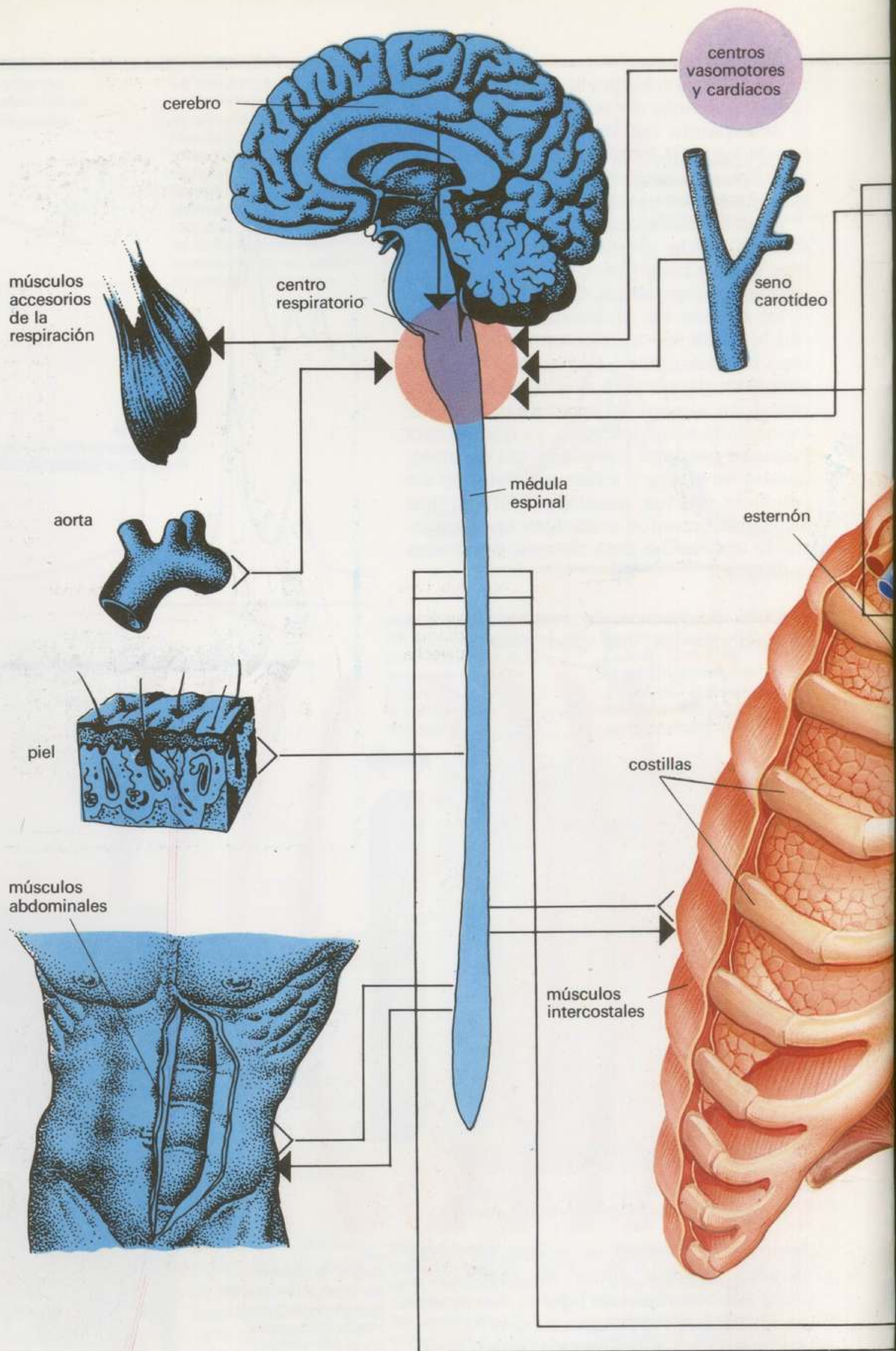
Respiración

La respiración es la acción más repetitiva que realizamos en el curso de nuestra vida. El acto de la respiración (entendiendo por tal un ciclo completo de inspiración y espiración) lo llevamos a cabo aproximadamente unas 20.000 veces al día, lo que supone más de 7,3 millones de veces al año y un total de cerca de 500 millones de respiraciones en el transcurso de una vida. La inhalación del oxígeno es tan importante y debe producirse de modo tan continuo que si una persona deja de respirar durante más de cinco minutos, correspondientes a unas 70 respiraciones, su vida puede correr peligro.

Los principios de la respiración Dado que la mayor parte de los seres vivientes, y no sólo el *Homo sapiens*, depende del oxígeno para su supervivencia, la respiración —es decir, la acción de absorber oxígeno a partir del aire o del agua filtrándolo a través de una superficie de respiración, como una branquia o un pulmón— tiene lugar de muy diversos modos. La superficie de respiración es traspasada por el oxígeno que, de esta manera, pasa al torrente circulatorio. Por otra parte, a través de esta superficie los residuos orgánicos, como el dióxido de carbono formado en las células, son eliminados. El término *respiración* se puede aplicar también a los sistemas de intercambio pasivo oxígeno-dióxido de carbono que tienen lugar a través de la piel (las ranas aletargadas reciben todo el oxígeno que necesitan a través de su piel). Si bien la mayor parte de los procesos respiratorios conllevan dos acciones separadas, la *inspiración* (es decir, la aspiración de aire o de agua), seguida de la *espiración* (la expulsión de aire o agua), en muchos casos el aire o el agua son bombeados a lo largo de la superficie de respiración mediante un flujo continuo, como sucede en las esponjas, las ostras y en los peces cartilaginosos.

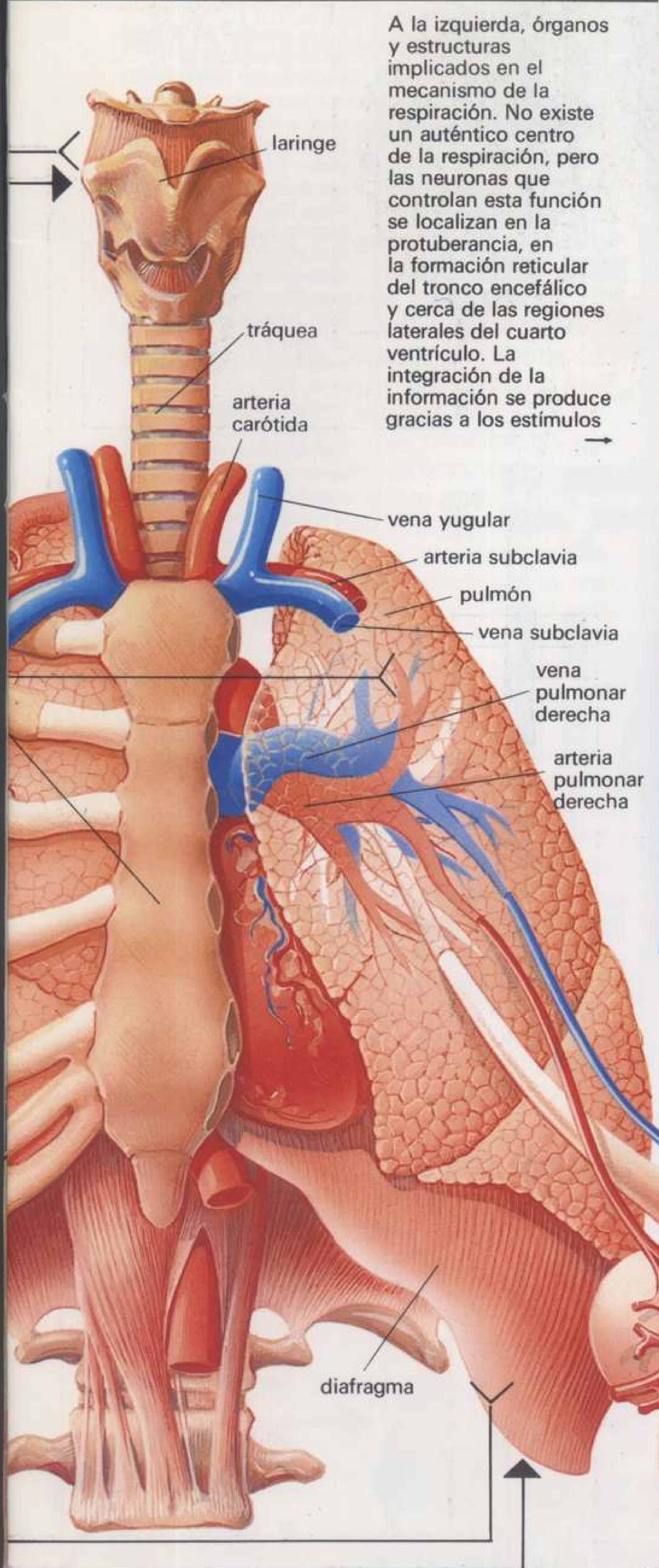
La respiración humana La respiración proporciona la cantidad suficiente de oxígeno para cubrir las necesidades celulares y elimina la mayor parte del dióxido de carbono residual que producen las células. El mecanismo de la respiración consiste en un bombeo fisiológico que introduce el aire a través de la tráquea hasta los pulmones. Este bombeo es efectuado por movimientos coordinados del tórax y del abdomen y está bajo el control del sistema nervioso. Los músculos relacionados con la respiración son activados por impulsos transmitidos desde el sistema nervioso central.

Durante la inspiración se expanden nuestros pulmones y el aire entra en ellos rápidamente. Para expulsar este aire, los pulmones se contraen. Durante una respiración normal y tranquila, la única actividad muscular está constituida por la expansión del tórax, durante la inspiración. Para realizar la espiración no es necesaria ninguna actividad muscular, dado que los pulmones son elásticos y se contraen por sí solos cuando se relajan.

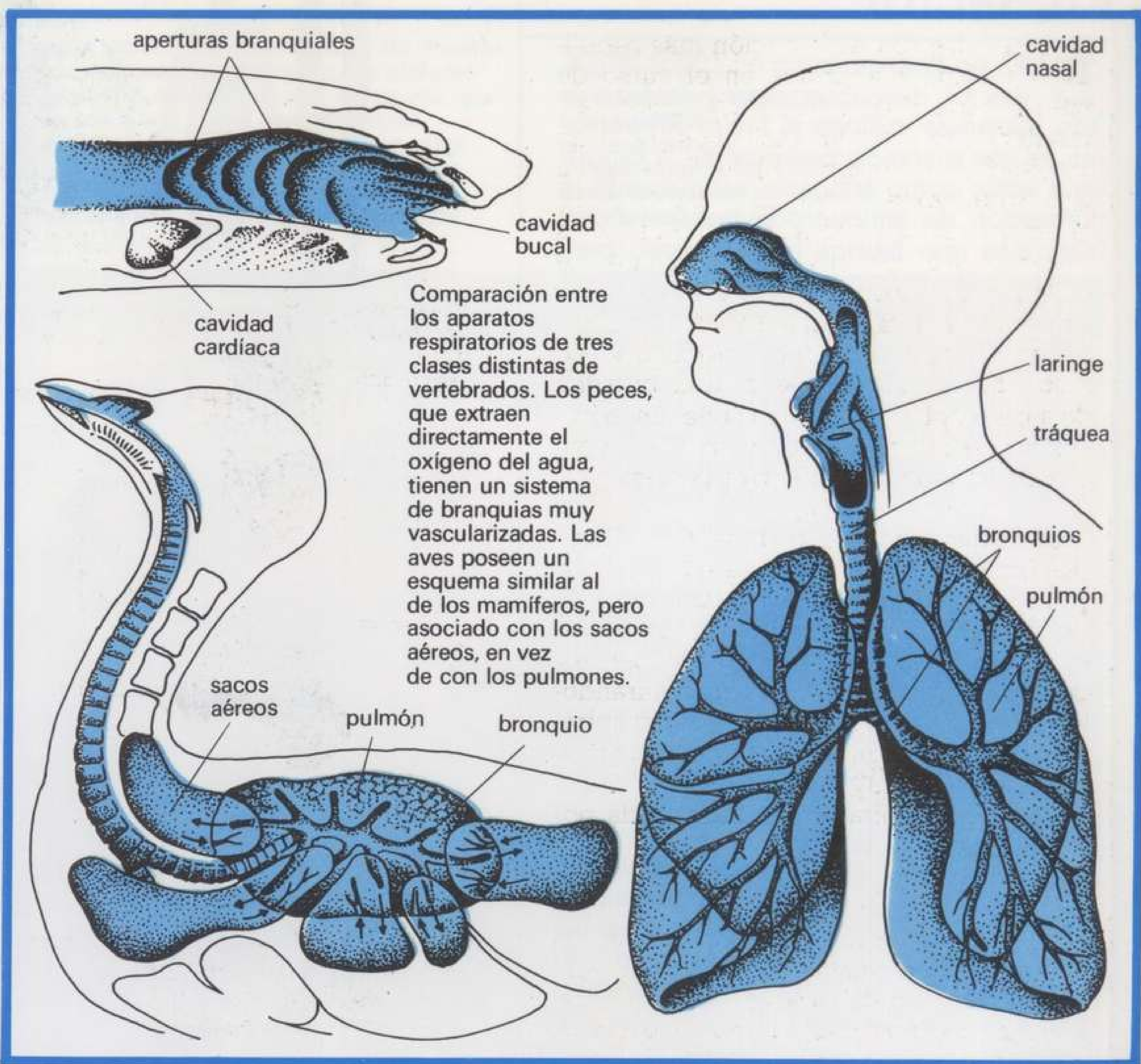


Los músculos El músculo más importante para la respiración es el *diafragma*, un músculo en forma de cúpula situado debajo de los pulmones y que separa la cavidad torácica de la cavidad abdominal. En la fase de espiración, este músculo se encuentra relajado y presenta forma arqueada. Sin embargo, durante la inspiración se contrae y adopta una forma más plana, aumentando así las dimensiones de la cavidad torácica. Este aumento de volumen de la cavidad torácica provoca una caída de presión en el interior de los pulmones. Cuando se relaja, el diafragma vuelve a recobrar su forma de cúpula, disminuyendo la capacidad del tórax y expulsando el aire hacia el exterior. Durante la respiración profunda, los músculos intercostales son utilizados para elevar la caja torácica, lo que aumenta las dimensiones de la cavidad torácica por encima de lo que ya realiza el diafragma. En los casos de respiración forzada, los músculos del cuello y de los hombros son también utilizados para incrementar aún más el volumen de la caja torácica, permitiendo así la entrada de una cantidad superior de aire en los pulmones. El régimen del intercambio respiratorio puede oscilar entre un mínimo de unos 6 litros hasta un máximo de 150 litros de aire por minuto.

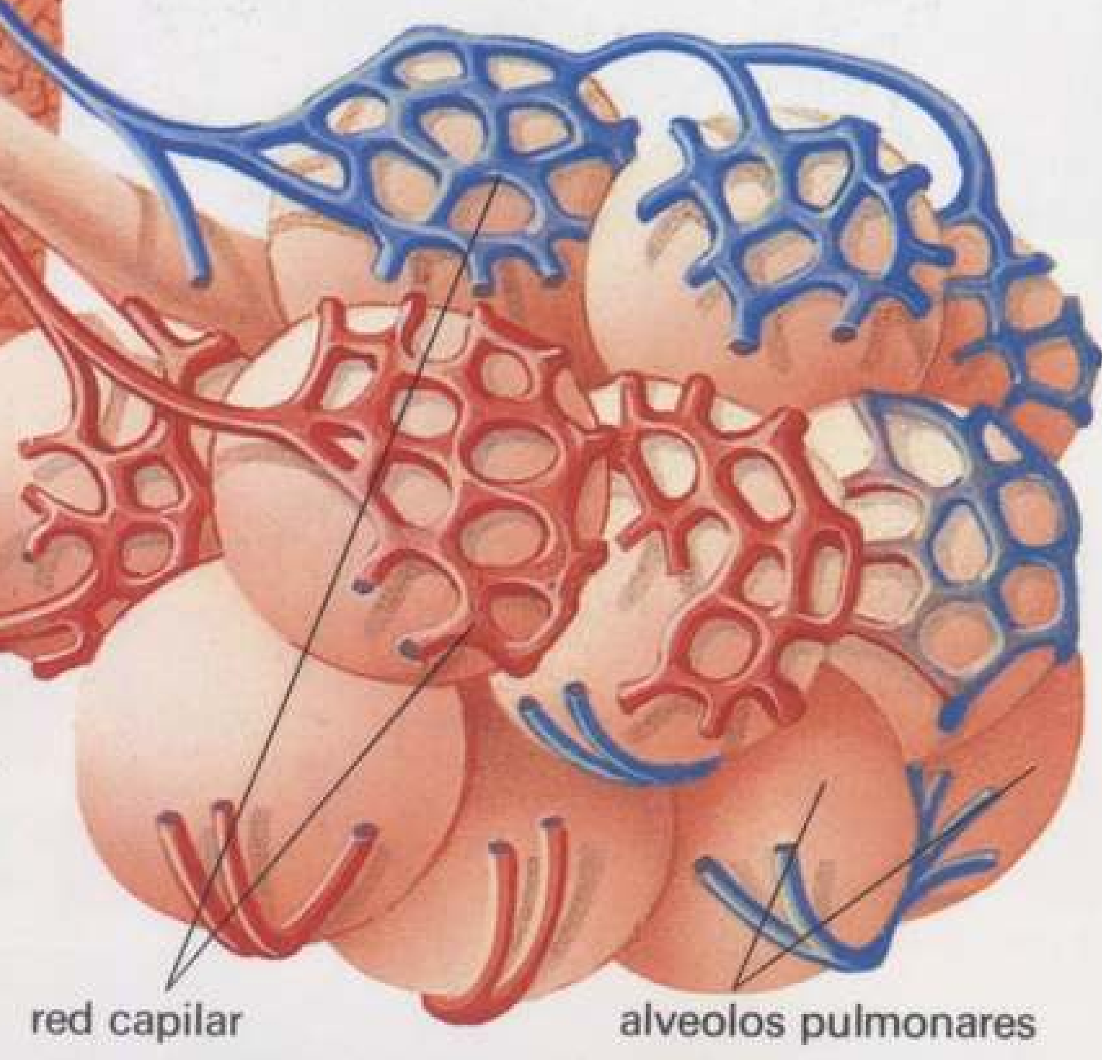
Otros aparatos respiratorios Algunas formas vivientes pequeñas, como la pla-

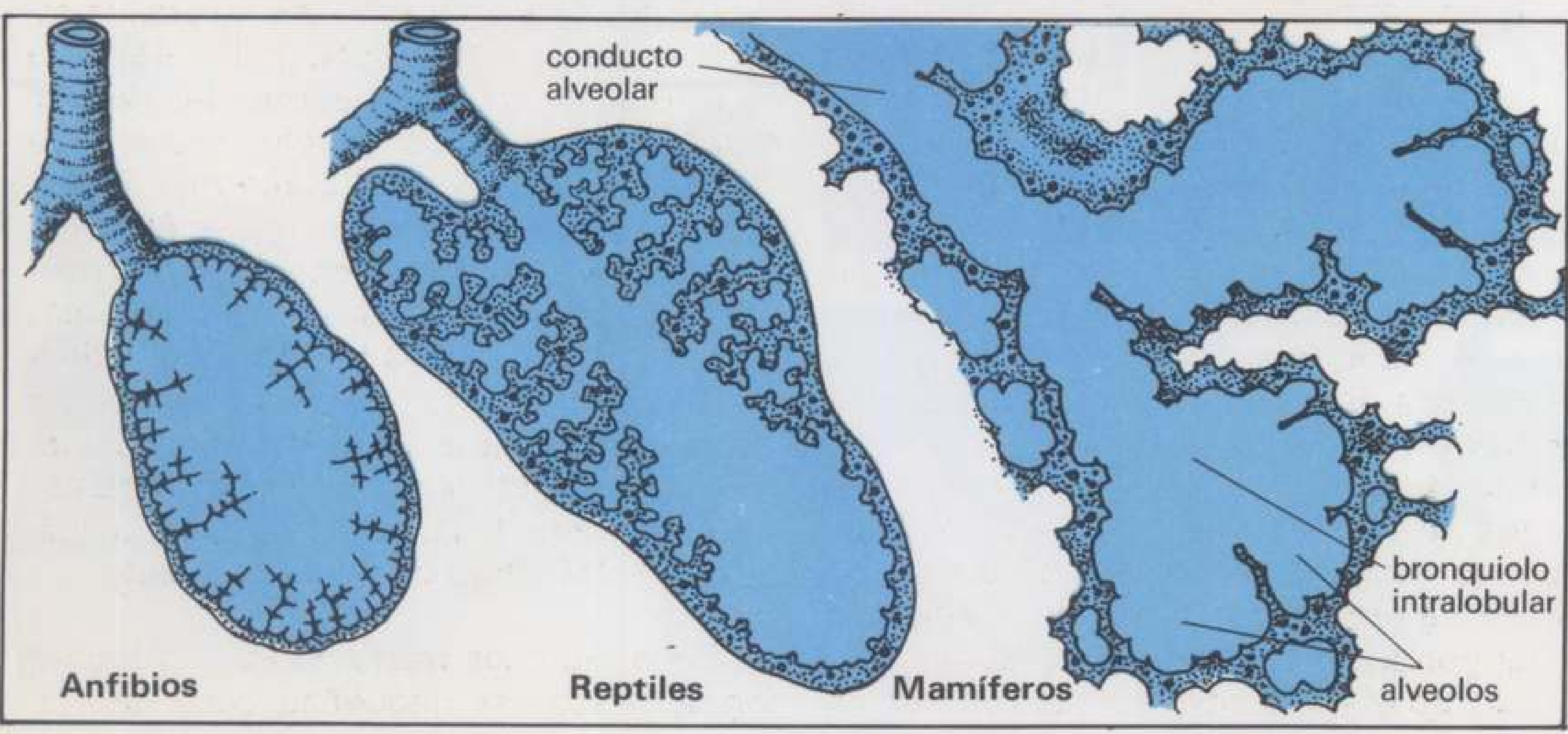


A la izquierda, órganos y estructuras implicados en el mecanismo de la respiración. No existe un auténtico centro de la respiración, pero las neuronas que controlan esta función se localizan en la protuberancia, en la formación reticular del tronco encefálico y cerca de las regiones laterales del cuarto ventrículo. La integración de la información se produce gracias a los estímulos procedentes de los receptores superficiales, situados en los órganos ilustrados en la figura, en particular en el arco aórtico y en el seno carotideo. Los pulmones son los órganos fundamentales de la respiración, donde a nivel de los alveolos tiene lugar el intercambio de oxígeno entre el aire y la sangre. El pulmón se apoya en la estructura ósea de la caja torácica y el movimiento de expansión y de compresión se realiza mediante la acción del diafragma y de los músculos intercostales. El aire inspirado alcanza los pulmones a través de la tráquea y las ramificaciones del árbol bronquial. Desde los pulmones, la sangre oxigenada llega al corazón y desde allí es bombeada a todo el organismo a través del sistema circulatorio. El alveolo es la estructura fundamental para el funcionamiento del pulmón. Abajo, diverso desarrollo de los alveolos pulmonares entre las distintas clases de vertebrados. Como puede apreciarse, el pulmón de los mamíferos posee una amplia red alveolar, al contrario que los anfibios y reptiles.



Comparación entre los aparatos respiratorios de tres clases distintas de vertebrados. Los peces, que extraen directamente el oxígeno del agua, tienen un sistema de branquias muy vascularizadas. Las aves poseen un esquema similar al de los mamíferos, pero asociado con los sacos aéreos, en vez de con los pulmones.





naria, un gusano plano, se sirven de su superficie corporal para realizar el intercambio de gases con el exterior y, en consecuencia, carecen de un sistema respiratorio interno. Los insectos están provistos de tráqueas, finísimas ramificaciones tubulares que se abren en la superficie corporal, que permiten que el aire fluya directamente hacia los tejidos. Las branquias de los peces y de otros animales se sirven del flujo continuo de agua a lo largo de las superficies respiratorias para la absorción de oxígeno. En todos los animales la actividad respiratoria es, de cualquier modo, una característica fundamental de la vida.

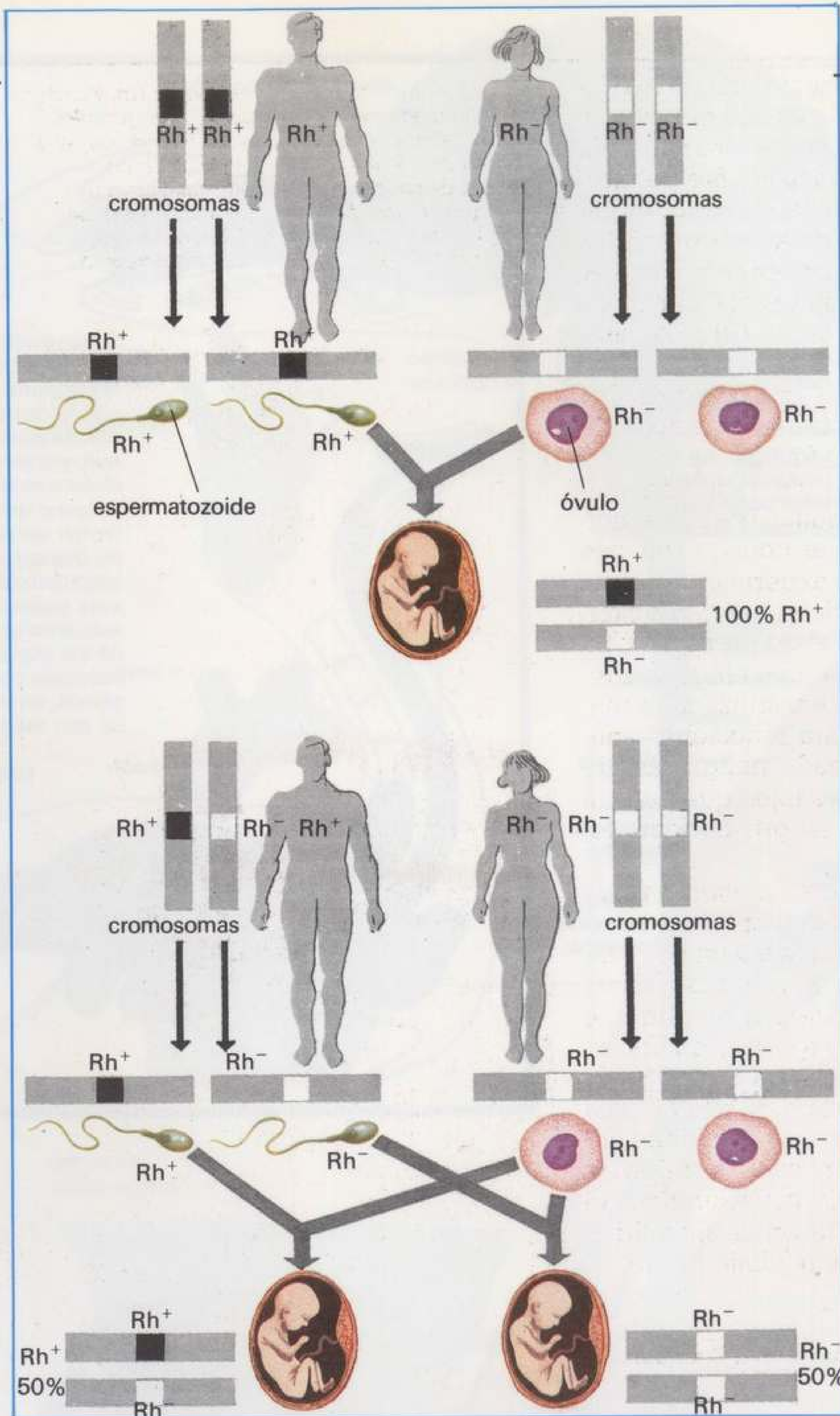
Véase **Cuerpo humano; Pulmón**

Rh, factor

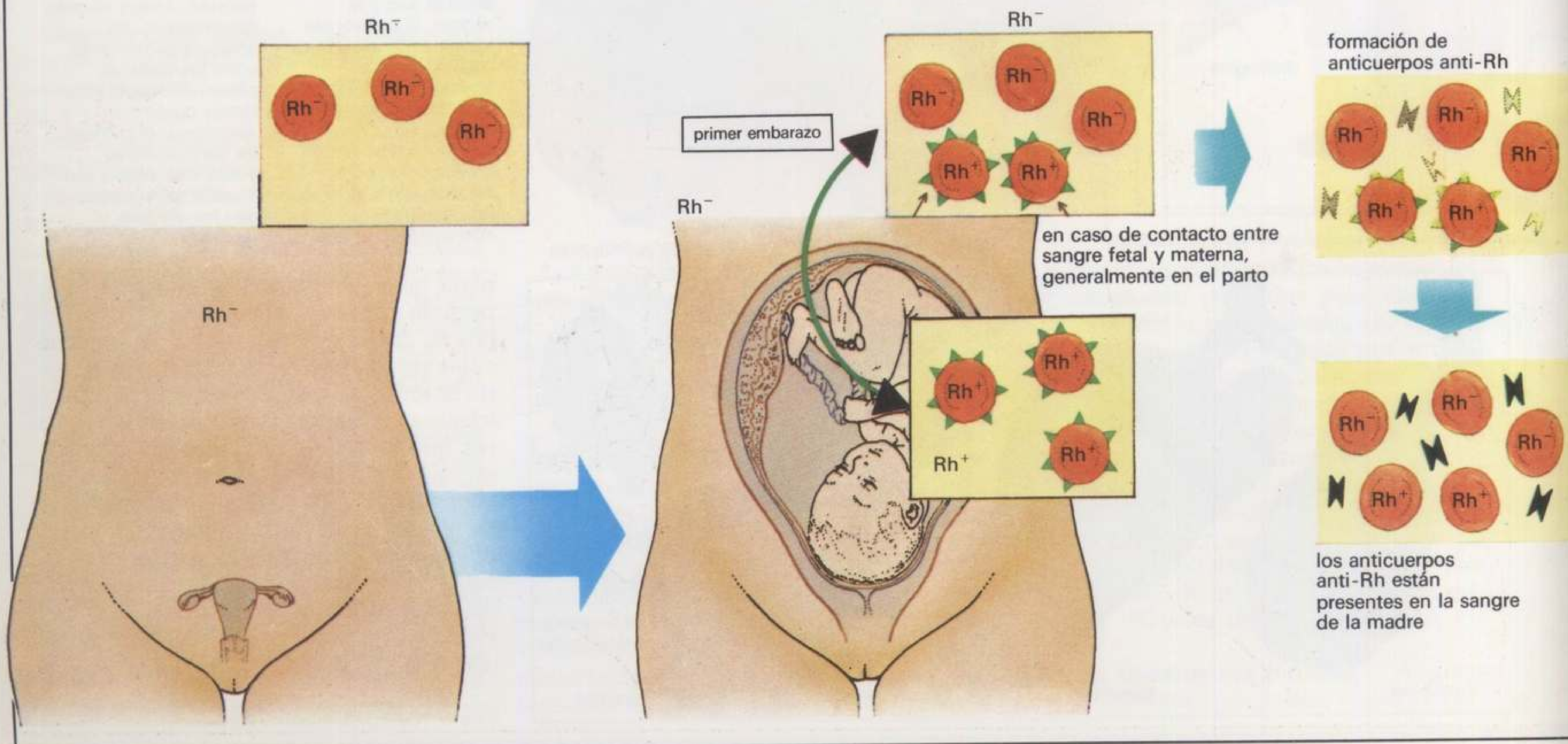
El Rh de *Rhesus*, mono en cuyos hematíes fue descubierta por primera vez una sustancia análoga al factor Rh humano, es una sustancia presente en la sangre que actúa como antígeno, estimulando la formación de anticuerpos, las sustancias naturales que fabrica el organismo para combatir las enfermedades.

El 85% de los seres humanos posee este factor (Rh+) y el 15% carece de él (Rh−). Si la madre es Rh- y el feto Rh+, pueden surgir graves complicaciones. Las lesiones que esta situación determina en el feto son: la hidropesía fetal y la ictericia del recién nacido. En la hidropesía fetal el niño nace edematoso y, en general, no sobrevive. La ictericia es más frecuente y se debe a la destrucción de eritrocitos y la consiguiente liberación de gran cantidad de hemoglobina que, tras haber sido transformada en bilirrubina por el hígado, determina la característica coloración amarilla. Un exceso de bilirrubina en la sangre es peligroso, sobre todo para los centros nerviosos, y puede determinar lesiones permanentes.

En 1941, Karl Landsteiner y Alexander S. Wiener, en sus investigaciones sobre los grupos sanguíneos y sus efectos en las transfusiones, inyectaron la sangre de un mono *Rhesus* a un conejo. Descubrieron que la sangre de estos monos inducía una reacción antigénica en el suero del conejo, que reaccionó como lo habría hecho en el caso de una invasión por bacterias patógenas. Cuando se inyectaba en el hombre suero de conejo, también en este caso se producía una reacción antigénica: es decir, la sangre humana aglutinaba, produciendo anticuerpos denominados *aglutininas* que se unían a los glóbulos rojos, determinando posteriormente su destrucción.



En la imagen de al lado se esquematiza la transmisión hereditaria del factor Rh. De una madre Rh$^-$ homocigótica y un padre Rh$^+$ también homocigótico nacerán hijos Rh$^+$ heterocigóticos, ya que el gen Rh$^+$ es dominante sobre el gen Rh$^-$. De una madre Rh$^-$ homocigótica y un padre Rh$^+$ heterocigótico nacerán hijos Rh$^+$ (heterocigóticos) y Rh$^-$ (homocigóticos). Abajo, mecanismos de la aparición, tras el nacimiento, de la anemia hemolítica del recién nacido por factor Rh. En el primer embarazo, en el que de una madre Rh$^-$ se tiene el nacimiento de un niño Rh$^+$, con frecuencia no se tienen problemas hasta el momento del parto. La posibilidad de paso de los glóbulos rojos fetales a la sangre materna y de formación de anticuerpos anti-Rh ocurre en el alumbramiento. En embarazos sucesivos, los anticuerpos, que son capaces de atravesar la barrera placentaria, podrán pasar de la madre al feto. Si éste es Rh$^+$, los anticuerpos anti-Rh, creados por la sangre materna, destruirán los glóbulos rojos fetales, originando un proceso de hemolisis con la consiguiente anemia fetal.



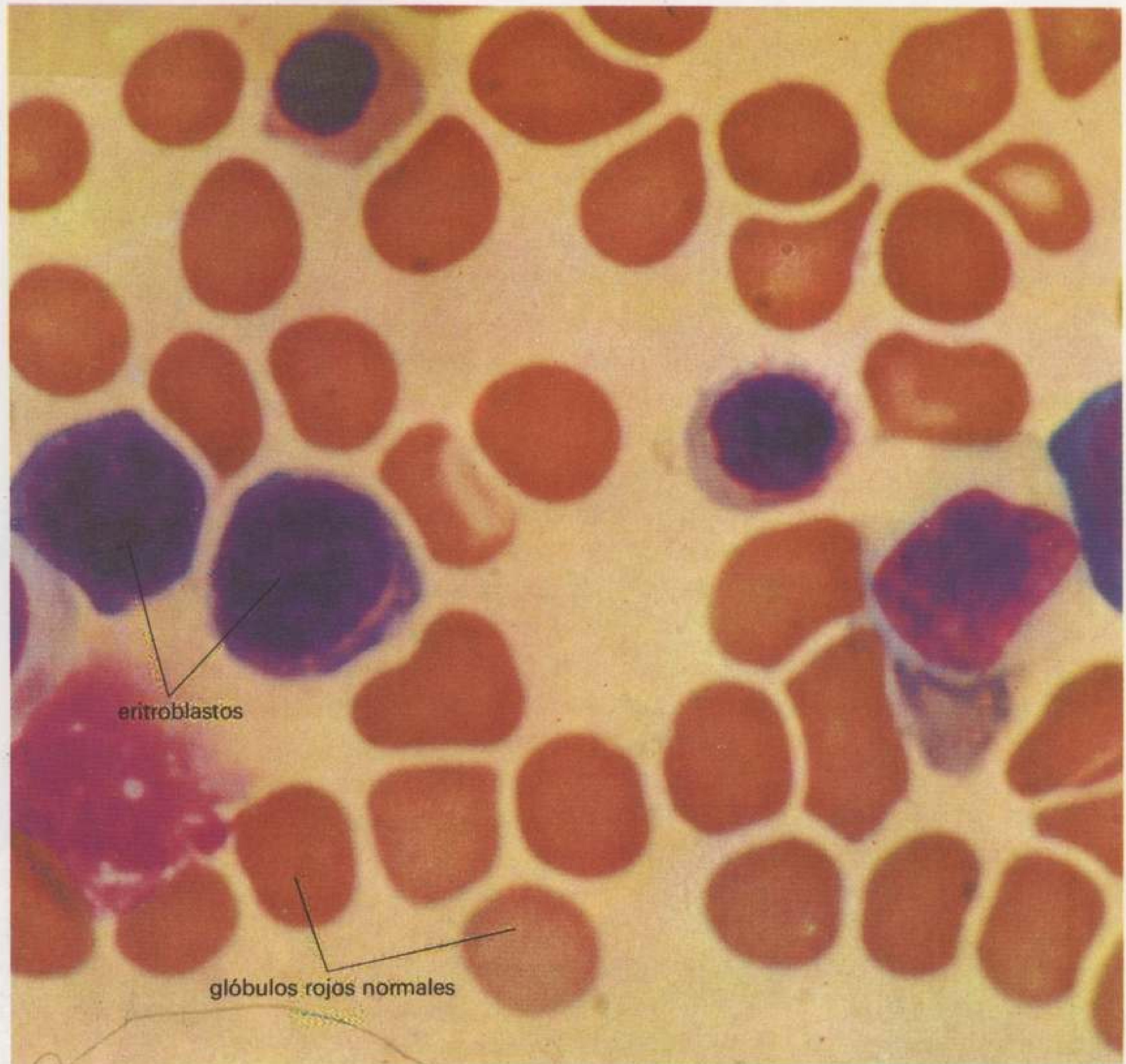
El factor Rh es solamente uno de los numerosos antígenos del hombre que no son compatibles con la sangre animal. Para evitar reacciones potencialmente peligrosas, los investigadores han ideado un sistema de clasificación de la sangre en los grandes grupos que conocemos como A, B, AB y 0 (cero). Por otra parte, la sangre puede tener el antígeno Rh (Rh+) o carecer de él (Rh-).

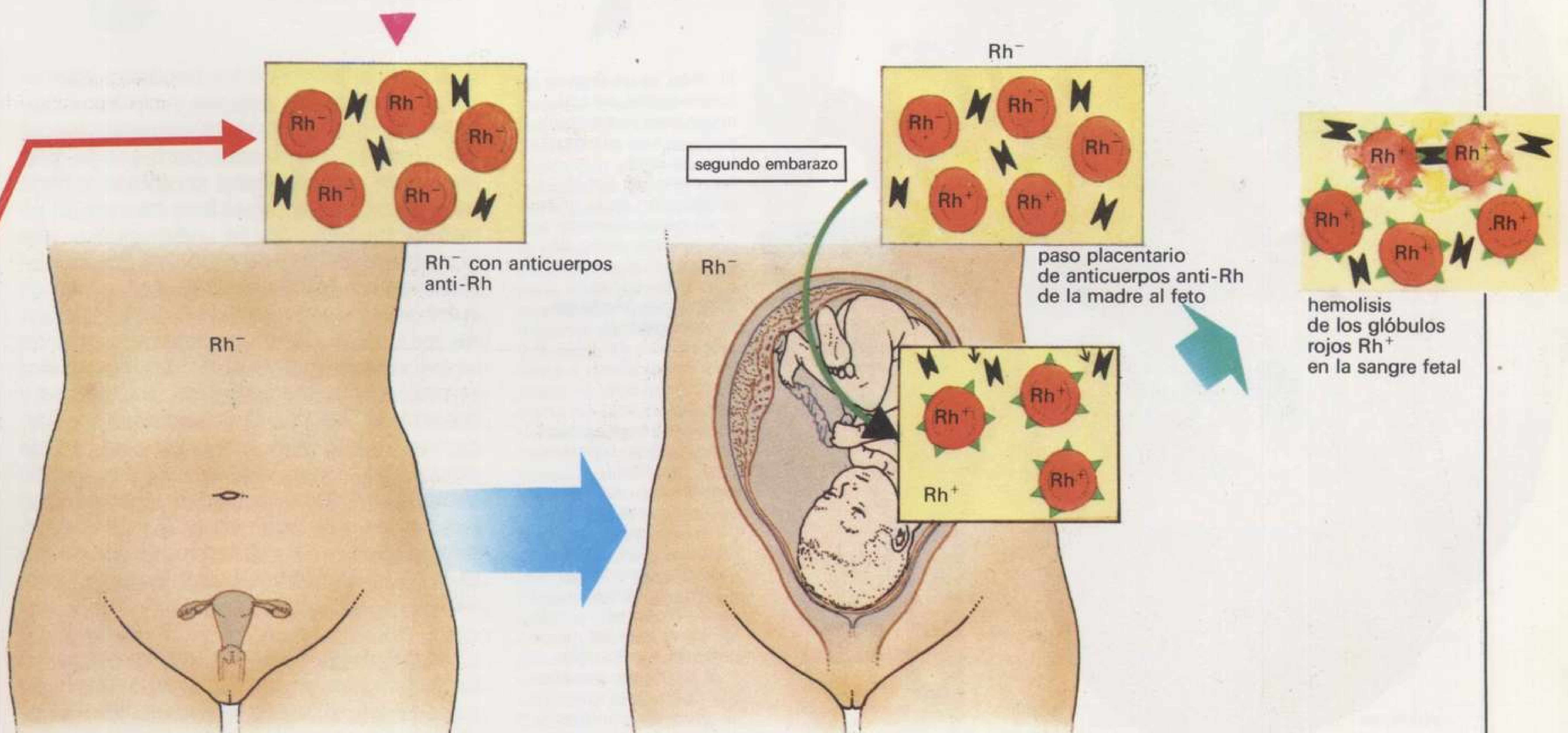
Esta diferencia tiene, como hemos visto, una gran importancia; en efecto, si la sangre de una persona Rh+ se mezcla con sangre Rh-, tiene lugar una reacción antigénica que podría resultar fatal. Una mujer con sangre Rh- que concibe un hijo con un hombre Rh+ experimentará una reacción antigénica inicial que la sensibilizará a la sangre con el antígeno Rh+. Su primer hijo puede nacer sin ninguna alteración, pero una vez sensibilizada la madre, su sangre producirá reacciones antigénicas de proporciones peligrosas, de manera que posteriores hijos que posean el antígeno Rh en su sangre podrían llegar incluso a morir.

Si ambos progenitores tienen sangre Rh+ no existe ningún riesgo. Si el padre es Rh- y la madre Rh+ no existe tampoco ningún peligro, dado que en este caso la madre no producirá anticuerpos anti-Rh que dañen al niño. Sin embargo, hoy en día, en todos los casos, se administra a la madre una dosis preventiva de gammaglobulina (proteínas de la sangre que contienen anticuerpos), que impedirá cualquier tipo de reaccion antigénica. En consecuencia, el factor Rh no constituye en la actualidad ningún peligro para el nacimiento de niños sanos.

Véase **Sangre y grupos sanguíneos; Transfusión sanguínea**

La imagen inferior, obtenida mediante un microscopio óptico, corresponde a una muestra de sangre en la que se observa un típico caso de incompatibilidad del factor Rh. Pueden apreciarse glóbulos rojos inmaduros, que se denominan eritroblastos, cuya presencia se debe al hecho de que los glóbulos rojos son aglutinados y destruidos en gran cantidad, liberándose a la circulación, en consecuencia, un gran número de elementos nuevos en fase de maduración.

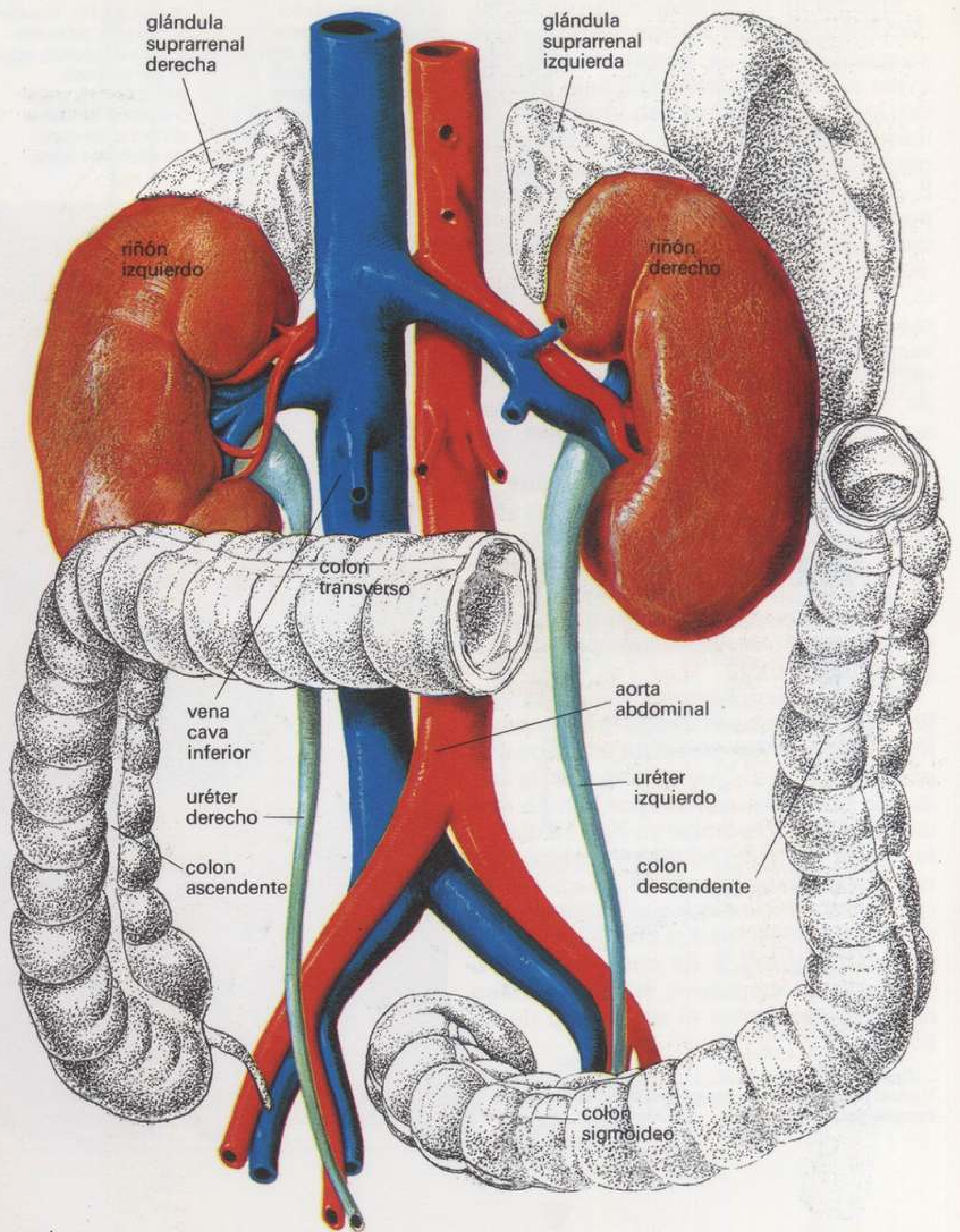


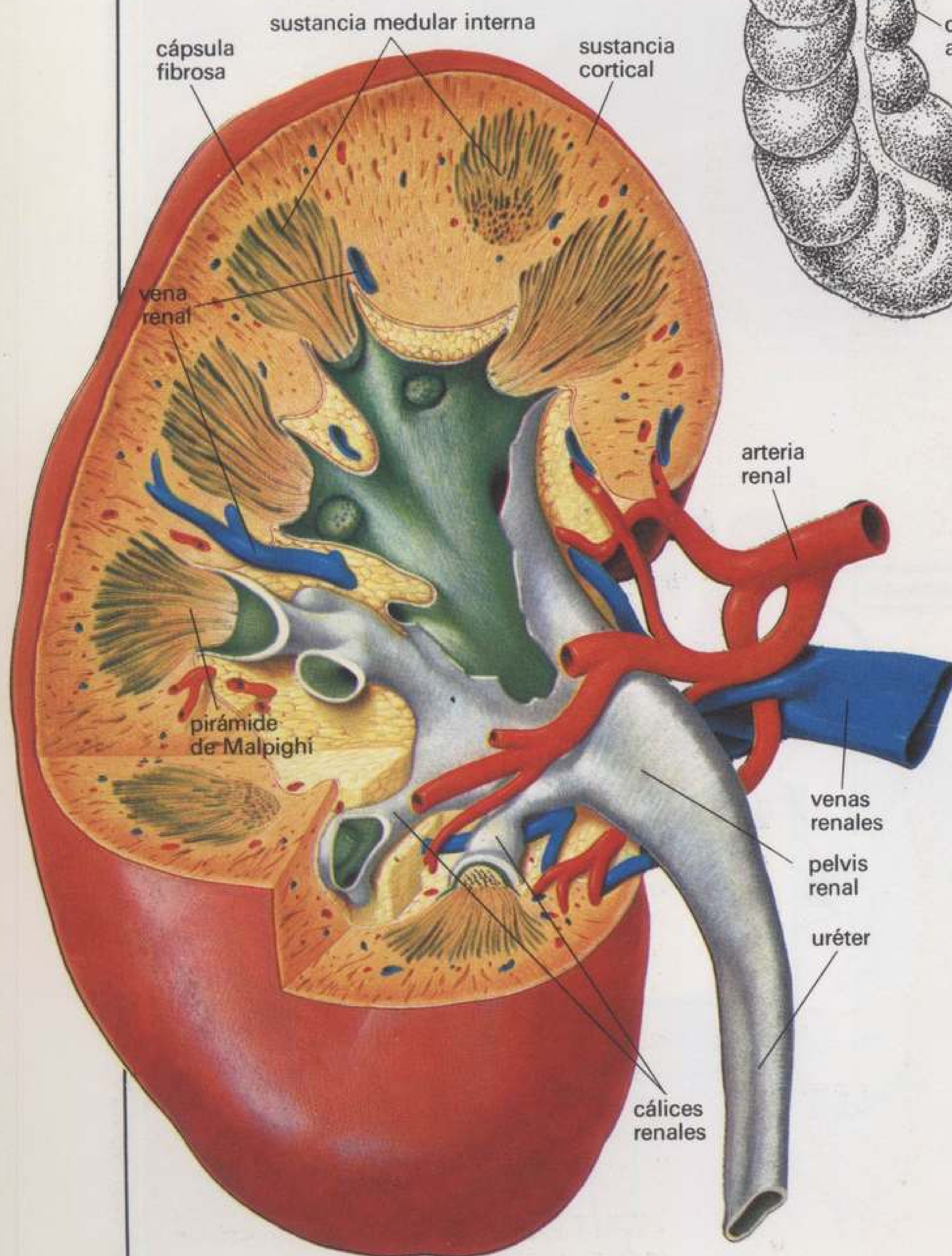


Riñón

Los riñones son dos órganos que se encuentran en la cavidad abdominal, bajo la caja torácica. Tienen un color rojo pardo y su forma recuerda a la de una gran habichuela. Su función consiste en purificar el organismo, depurando la sangre de las sustancias de desecho que se eliminan con la orina, y en mantener su equilibrio hídrico.

La depuración de la sangre El riñón de un hombre adulto posee una longitud de cerca de 11 cm de largo y 5 cm de ancho y pesa unos 150 gramos. Está dividido en una parte externa, llamada cortical, y otra interna o medular, entre las cuales existe más de un millón de microscópicos tubitos filtrantes denominados *nefronas*. La nefrona constituye la unidad funcional básica del riñón y se compone de dos partes: el *glomérulo* o *corpúsculo de Malpighi*, constituido por capilares que poseen una superficie total de cerca de 1,5 metros cuadrados, y los *túbulos*, cuya longitud total es de unos 160 kilómetros. Esto explica cómo los riñones, a pesar de sus reducidas dimensiones, son capaces de filtrar 120 litros de líquido cada 24 horas y de producir de 1 a 1,5 litros de orina al día. El proceso básico en la formación de la orina es la filtración glomerular. La sangre que pasa a través de los capilares glomerulares es filtrada por sus paredes, originándose un líquido cuya composición es igual que la del plasma, pero con la diferencia de que contiene proteínas y otras moléculas de grandes dimensiones. El ultrafiltrado formado de este modo, que constituye la llamada *preorina*, pasa sucesivamente a través de los túbulos, donde sufre varios procesos de transformación, de los cuales deriva el producto final de la actividad renal: la *orina*. En los túbulos se reabsorben los enzimas, los azúcares y las sales de las que el organismo tiene necesidad, junto con una gran cantidad de agua, todo lo cual retorna a la circulación sanguínea. Las sustancias de desecho que forman la orina son recogidas en la *cavidad pélvica renal* y, finalmente, atraviesan el *uréter*, un conducto que termina en la vejiga.





El riñón es un órgano fundamental para el organismo humano, dado que su principal función está representada por la producción de la orina, y, en consecuencia, por la eliminación de sustancias que no son utilizables por el organismo. Mediante la formación y eliminación de la orina, el riñón contribuye a la regulación del equilibrio ácido-básico, del equilibrio hídrico y del equilibrio electrolítico. Arriba, posición anatómica de los riñones con relación a los grandes vasos, la vena cava inferior, la aorta abdominal y el intestino, que se muestra seccionado. A la izquierda, sección del riñón en la que se pone de manifiesto su estructura interna.

La patología renal El riñón ocupa un lugar de gran importancia en la patología general del organismo humano. Ello guarda relación con su función de depuración

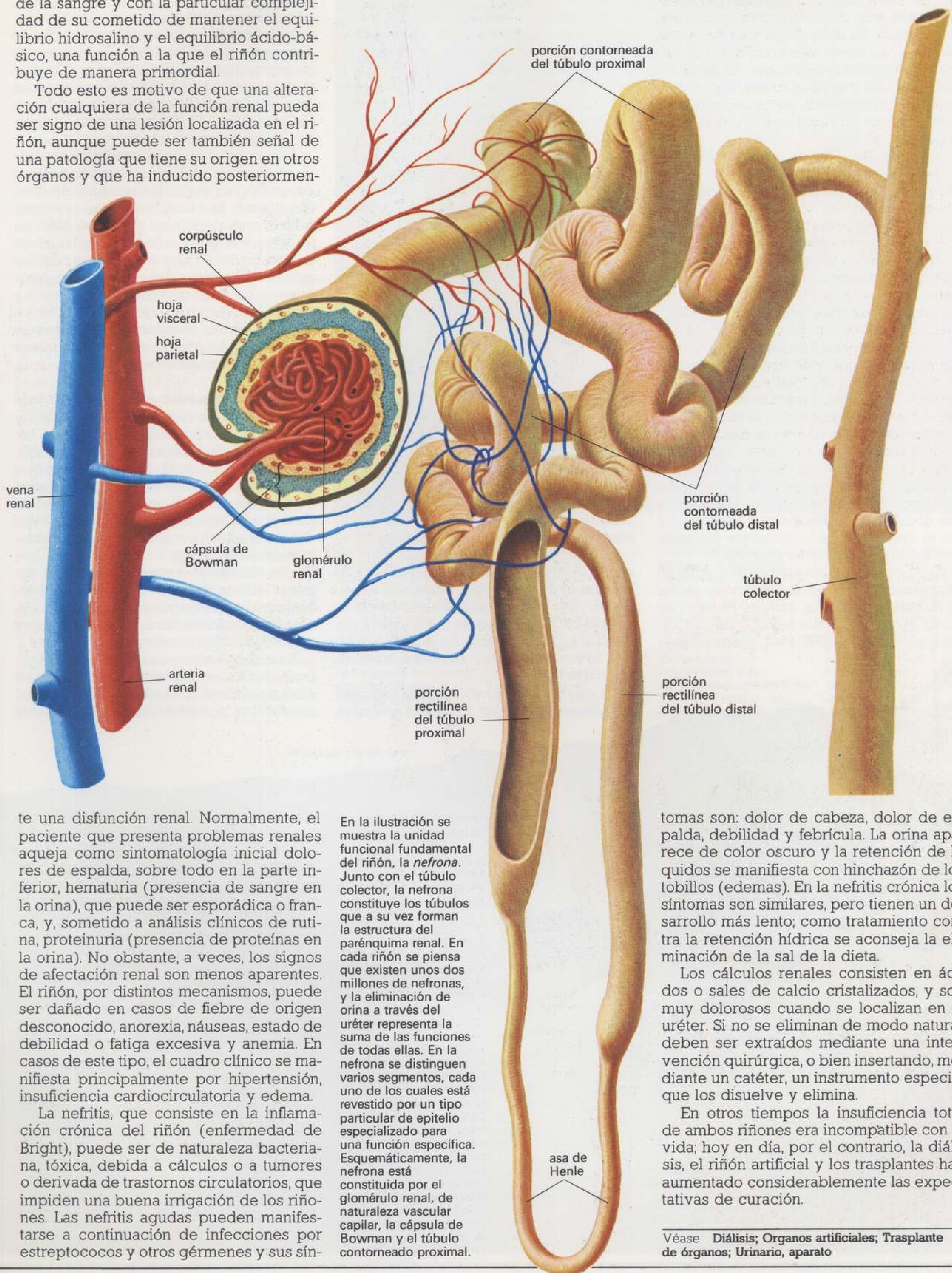
de la sangre y con la particular complejidad de su cometido de mantener el equilibrio hidrosalino y el equilibrio ácido-básico, una función a la que el riñón contribuye de manera primordial.

Todo esto es motivo de que una alteración cualquiera de la función renal pueda ser signo de una lesión localizada en el riñón, aunque puede ser también señal de una patología que tiene su origen en otros órganos y que ha inducido posteriormente una disfunción renal. Normalmente, el paciente que presenta problemas renales aqueja como sintomatología inicial dolores de espalda, sobre todo en la parte inferior, hematuria (presencia de sangre en la orina), que puede ser esporádica o franca, y, sometido a análisis clínicos de rutina, proteinuria (presencia de proteínas en la orina). No obstante, a veces, los signos de afectación renal son menos aparentes. El riñón, por distintos mecanismos, puede ser dañado en casos de fiebre de origen desconocido, anorexia, náuseas, estado de debilidad o fatiga excesiva y anemia. En casos de este tipo, el cuadro clínico se manifiesta principalmente por hipertensión, insuficiencia cardiocirculatoria y edema.

La nefritis, que consiste en la inflamación crónica del riñón (enfermedad de Bright), puede ser de naturaleza bacteriana, tóxica, debida a cálculos o a tumores o derivada de trastornos circulatorios, que impiden una buena irrigación de los riñones. Las nefritis agudas pueden manifestarse a continuación de infecciones por estreptococos y otros gérmenes y sus síntomas son: dolor de cabeza, dolor de espalda, debilidad y febrícula. La orina aparece de color oscuro y la retención de líquidos se manifiesta con hinchazón de los tobillos (edemas). En la nefritis crónica los síntomas son similares, pero tienen un desarrollo más lento; como tratamiento contra la retención hídrica se aconseja la eliminación de la sal de la dieta.

Los cálculos renales consisten en ácidos o sales de calcio cristalizados, y son muy dolorosos cuando se localizan en el uréter. Si no se eliminan de modo natural, deben ser extraídos mediante una intervención quirúrgica, o bien insertando, mediante un catéter, un instrumento especial que los disuelve y elimina.

En otros tiempos la insuficiencia total de ambos riñones era incompatible con la vida; hoy en día, por el contrario, la diálisis, el riñón artificial y los trasplantes han aumentado considerablemente las expectativas de curación.



En la ilustración se muestra la unidad funcional fundamental del riñón, la *nefrona*. Junto con el túbulo colector, la nefrona constituye los túbulos que a su vez forman la estructura del parénquima renal. En cada riñón se piensa que existen unos dos millones de nefronas, y la eliminación de orina a través del uréter representa la suma de las funciones de todas ellas. En la nefrona se distinguen varios segmentos, cada uno de los cuales está revestido por un tipo particular de epitelio especializado para una función específica. Esquemáticamente, la nefrona está constituida por el glomérulo renal, de naturaleza vascular capilar, la cápsula de Bowman y el túbulo contorneado proximal.

Véase **Diálisis; Organos artificiales; Trasplante de órganos; Urinario, aparato**

Río

Para el ser humano, un río puede significar muy distintas cosas: un obstáculo, un factor de defensa, una vía de comunicación, un medio de regadío, o también una fuente de energía y, por lo tanto, un elemento de capital importancia para la vida de un país. Pero un río es antes que nada la forma que adopta el agua para fluir sobre la superficie de la Tierra.

El "ciclo hidrológico" es un hecho bien conocido: el calor solar provoca la evaporación del agua, sobre todo de la del mar; las precipitaciones la restituyen a la Tierra y una parte de ella cae sobre las zonas emergidas. De esta agua, una parte (11%) se infiltra en el terreno y va a alimentar los acuíferos subterráneos, donde fluye lentamente hacia los puntos de surgencia de los mismos; otra parte (64%) vuelve a entrar en el ciclo por evaporación directa o mediante la transpiración de las plantas; el restante 25% constituye la escorrentía superficial que discurre pendientes abajo sobre la superficie terrestre ocupando una red de surcos, labrados por ella misma, que pese a las continuas pérdidas por evaporación y transporte, posibilita su retorno al mar. Los arroyos, los torrentes y los ríos constituyen elementos de distinto orden de esta red de drenaje superficial cuya importancia en el modelado de la corteza y en la actividad humana es bien patente.

Los ríos han tenido y siguen teniendo un importante papel en el desarrollo de las civilizaciones. Así, la antigua Jericó, fundada en un fértil valle a orillas del río Jordán hace unos 10.000 años, parece haber sido el primer asentamiento humano estable. Igualmente, importantes civilizaciones antiguas se desarrollaron en Mesopotamia (del griego *mesos* y *potamos*: entre ríos) a orillas de los ríos Tigris y Éufrates y a lo largo de las riberas del Nilo, en Egipto. Históricamente, los cursos fluviales han sido también elementos de gran importancia como vías de penetración cultural y comercial, para la explotación de nuevos territorios y para el establecimiento de límites fronterizos entre países vecinos. En el curso de los años, los ríos van cambiando la fisonomía de las regiones sobre las que discurren, profundizando las gargantas de las montañas y generando amplias regiones fértiles en el llano, gracias a los desbordamientos periódicos y al depósito de limos y arcillas en suspensión.

La red fluvial Los ríos son parte de un sistema más amplio que el del simple curso de agua que constituye el trazado del propio río.

Un río recoge las aguas que discurren sobre una amplia zona de la superficie terrestre, transportándolas hacia lagos, mares u océanos. La región drenada por un río se llama *cuenca fluvial* y el límite entre dos cuencas adyacentes recibe el nombre de *divisoria de aguas*. Dos ejemplos de divisorias de aguas son las Montañas Rocosas (EE UU), que separan las aguas que vierten al océano Pacífico de las que lo hacen a la cuenca del Mississippi, y las cadenas montañosas de Uganda, que separan las aguas destinadas a desembocar, por un lado, en el océano Atlántico y, por otro, en el mar Mediterráneo, por medio del Nilo.

La escorrentía del agua en las regiones montañosas da lugar a la formación de arroyos, torrentes y pequeños ríos que constituyen afluentes de un curso principal. El complejo sistema formado por el curso principal y por todos los cursos de menor orden que llevan agua al mismo constituye la red de drenaje de la cuenca fluvial y se caracteriza por sus complejas ramificaciones, que los asemejan al sistema circulatorio sanguíneo.

Las precipitaciones atmosféricas controlan en gran medida el comportamiento de un río, su caudal, los cambios de nivel del agua y la velocidad de la corriente, todo lo cual determina, en último término, la influencia geomorfológica del río y de su red fluvial. El término "ciclo fluvial" se refiere a la acción del río en su conjunto: erosión del terreno en sus tramos altos y centrales y depósito de los detritus en los valles o en las desembocaduras, con un proceso más o menos largo de transporte por varios mecanismos.

Erosión y depósito En la mayor parte de su curso, los ríos discurren encajados en *valles*. Estos son el resultado de un largo proceso de erosión gradual, tanto vertical como horizontal, realizado por el río a partir del momento de su encajamiento inicial. Las dimensiones de los valles varían, en general, según el caudal y la edad del río que los recorre. Los grandes sistemas fluviales, activos durante largos periodos de tiempo geológico, pueden terminar arrasando por completo extensas regiones de centenares y, a veces, millares de kilómetros de amplitud, formando así las llamadas *penillanuras*.

La acción erosiva del agua se manifiesta de dos maneras distintas. La primera de ellas es la erosión mecánica. Los fragmentos de roca transportados por la corriente



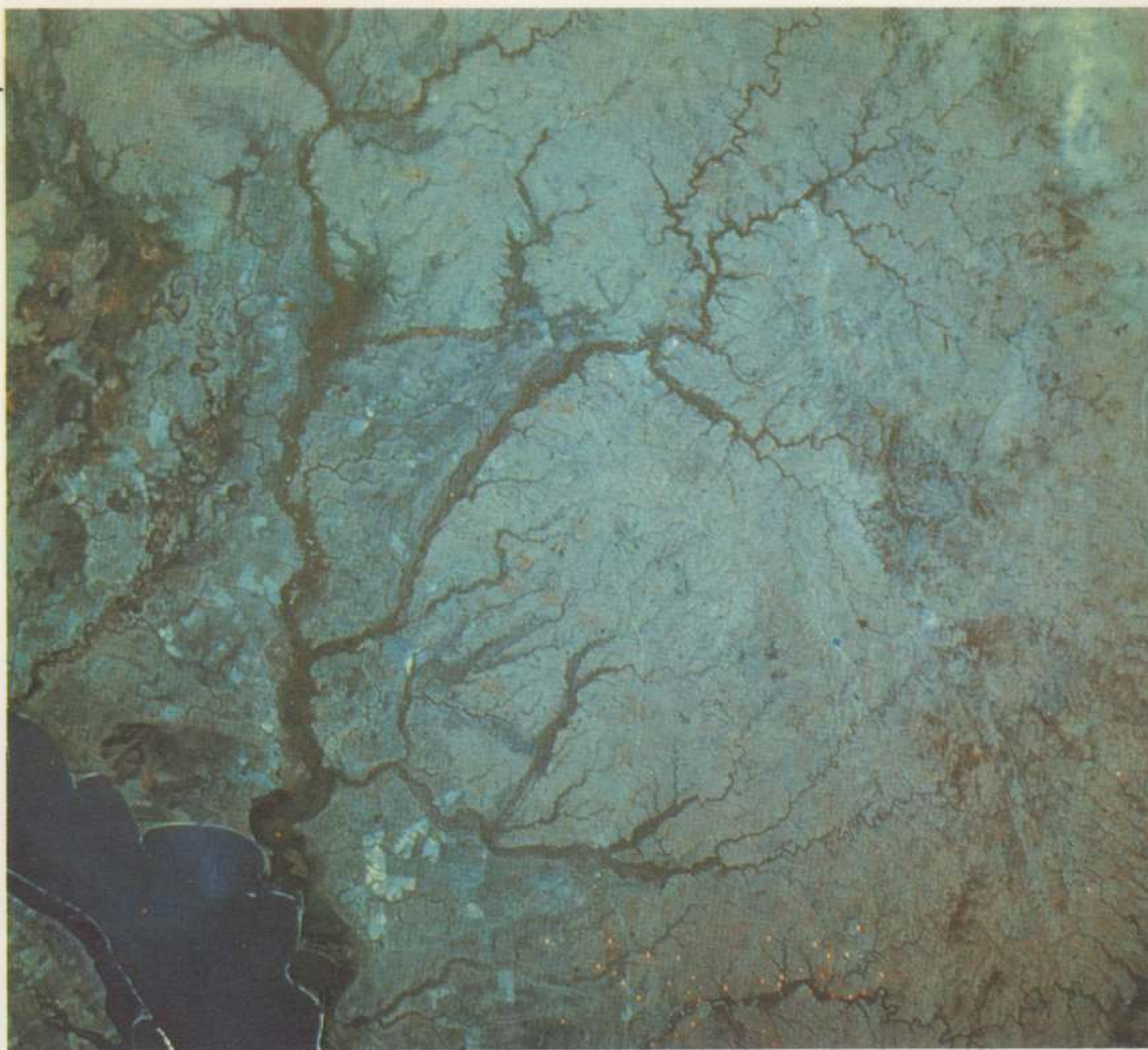
van excavando por impacto y abrasión el lecho fluvial, profundizándolo constantemente a una velocidad que depende de la carga de material sólido transportado.

La fuerza del agua en movimiento es impresionante. Así, a una velocidad de unos 30 cm/s el agua puede transportar ya partículas finas de limo, mientras que a 10 m/s llega a acarrear bloques de grandes dimensiones.

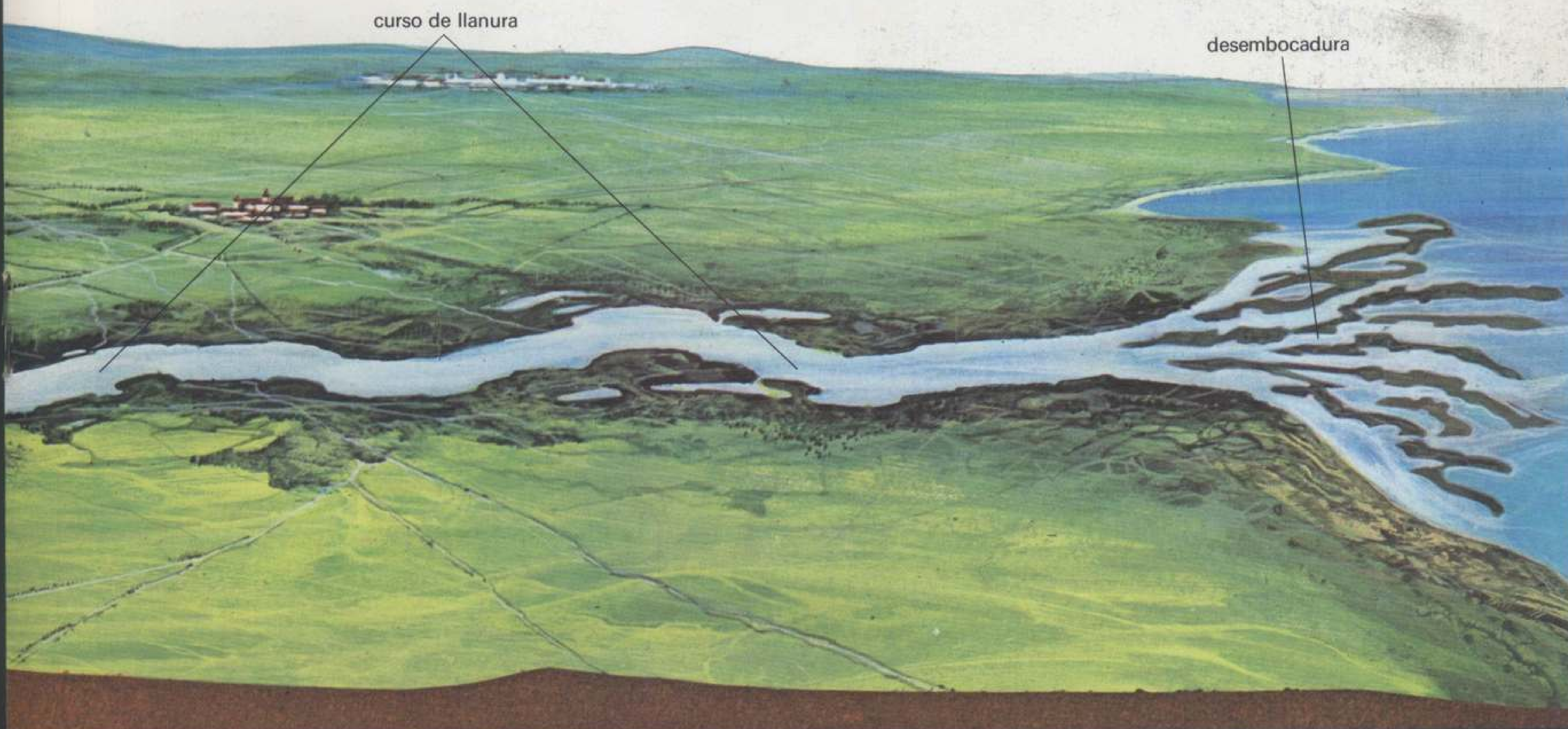
Cuando se rompe un dique o una presa, la enorme masa de agua se desliza violentamente valle abajo a una elevada velocidad, pudiendo arrasar a su paso obras civiles de gran resistencia como puentes y edificios. Un fenómeno parecido se puede producir como consecuencia de intensas lluvias en regiones de elevado relieve. Como ejemplo de la velocidad del agua baste mencionar el caso de un bloque de 10.000 toneladas que fue desplazado unos 750 metros aguas abajo durante la riada originada por la ruptura de una presa en California en el año 1928.

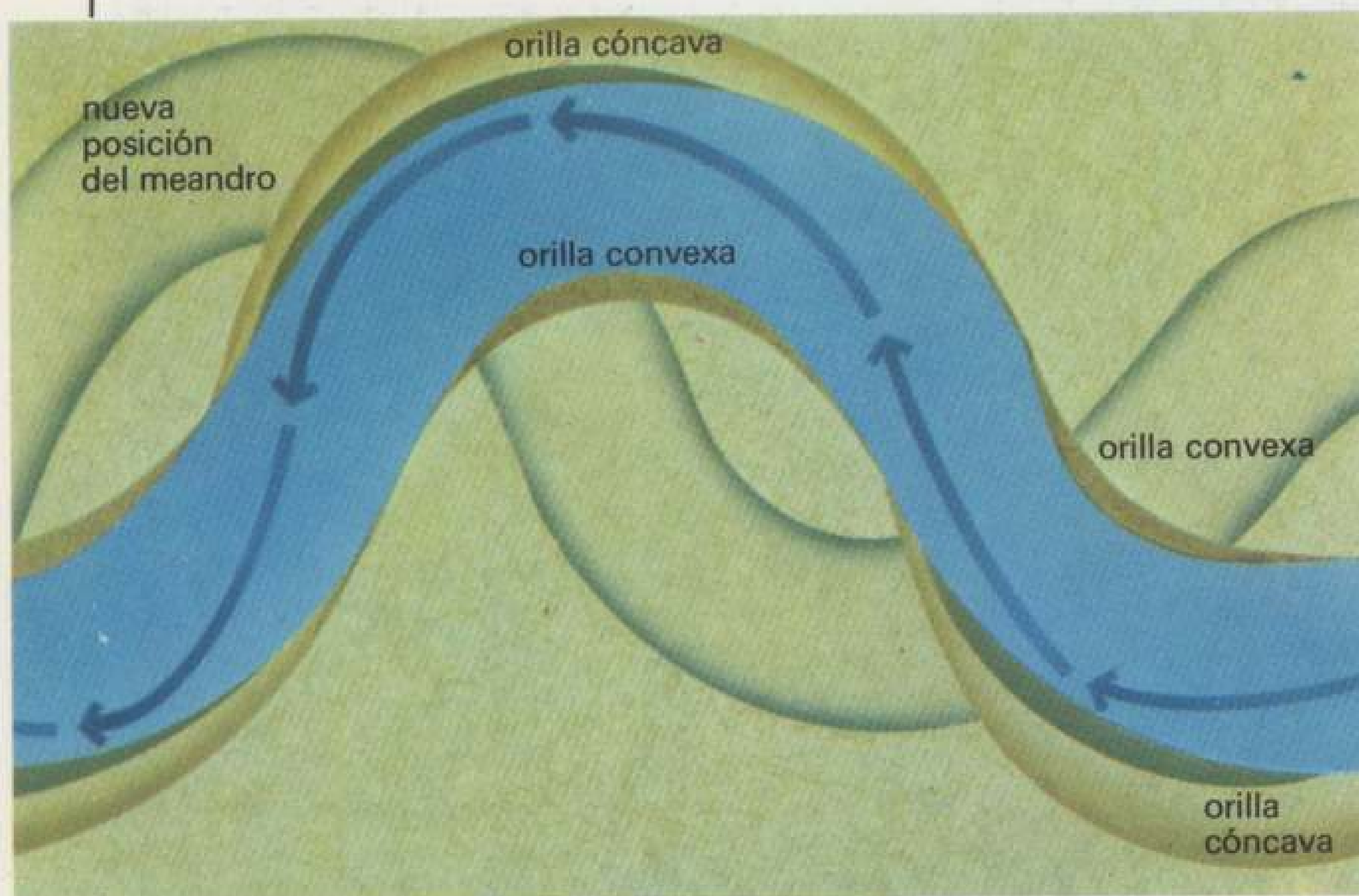
El segundo tipo de erosión es el debido a la acción química. El agua de lluvia tiene un carácter ácido, de tal modo que puede provocar la disolución de algunos minerales (especialmente los de naturaleza carbonatada). Los componentes químicos transportados en disolución por el río constituyen su "carga en disolución".

La sedimentación es, por el contrario, un fenómeno opuesto a la erosión. Cuando el agua llega al nivel inferior del río, en la base de la cadena montañosa de la cual procede, o en las proximidades de un lago u otro tipo de cuenca, los detritus transportados por la corriente se depositan uniformemente sobre el lecho o sobre las orillas, formando capas de sedimentos. En este punto del curso fluvial la corriente ha



Arriba, red hidrográfica de un río vista desde un satélite. Abajo, las distintas partes en que se divide el curso de un río. De izquierda a derecha, el perfil de un río: en las altas montañas el río puede transportar grandes bloques angulosos de roca. Todavía en el tramo de montaña, se encuentra la zona de torrente, donde la corriente arrastra gruesos guijarros y donde vive la trucha, que necesita aguas frías y muy oxigenadas. En el pie de monte, la corriente suele ser todavía veloz e impetuosa, el agua está un poco más caliente y menos oxigenada: es el hábitat del barbo; su lecho y sus márgenes están cubiertos por grava y arena. En la llanura se depositan arenas y es el hábitat de la locha; en el tramo de llanura de inundación más próximo a la desembocadura sólo hay arena y limos; en la desembocadura suele haber una mezcla entre las aguas dulces del río y el agua salada del mar. A veces se forman estancamientos, como las albuferas, que constituyen auténticos ecosistemas con gran número de peces, aves y plantas acuáticas adaptados a los cambios de salinidad.

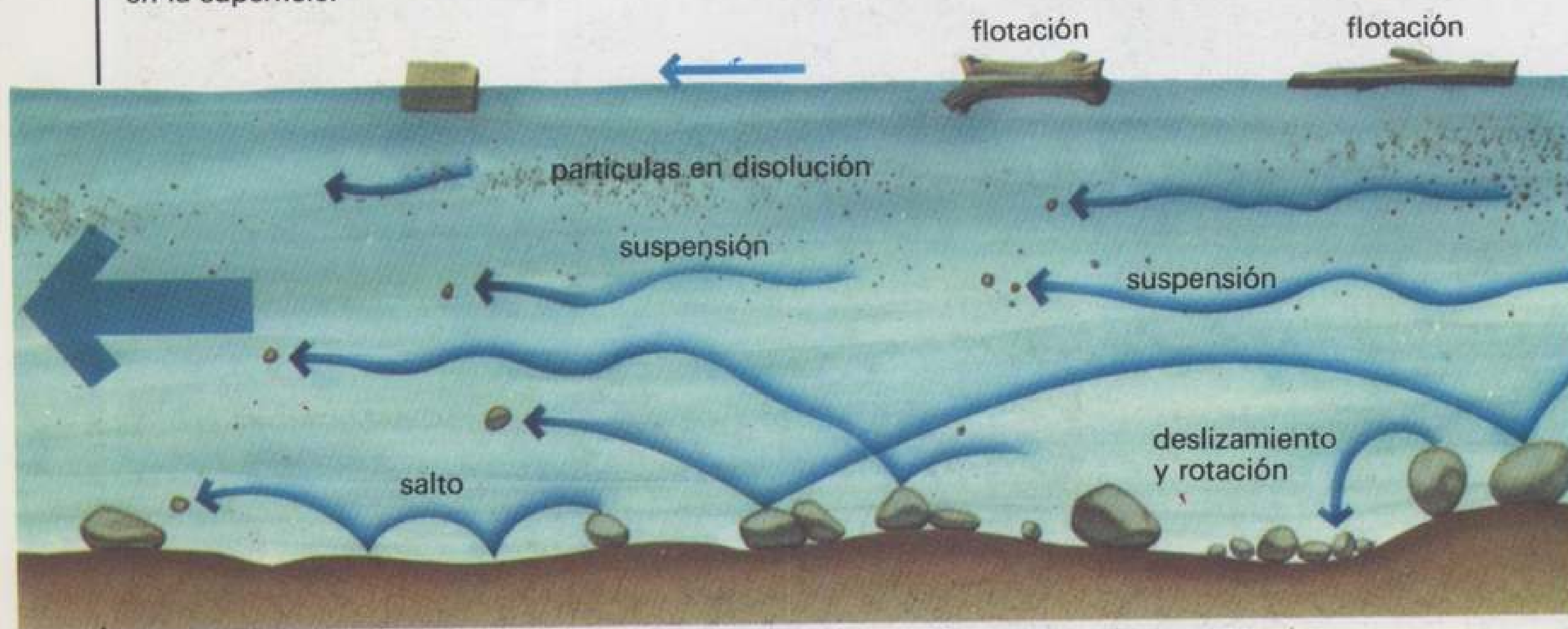




A la izquierda, evolución de los meandros fluviales. En el dibujo se han representado los elementos típicos: la orilla cóncava, donde la corriente (señalada por las flechas) erosiona el cauce, y la orilla convexa, donde, por la acumulación de sedimentos, se forma una playa. El progreso de la erosión hace avanzar las orillas cóncavas y todo el meandro se desplaza en la dirección general del movimiento, pasando a ocupar una nueva posición. Como se puede observar, la parte interna de algunos meandros termina siendo estrangulada, dando lugar a meandros abandonados. Al disminuir la velocidad de la corriente, el río deposita parte del material que transporta en el lado interno de los meandros divagantes o, en otros casos, donde el valle se ensancha. Si la zona experimenta un levantamiento, el río profundiza su cauce cortando sus propios sedimentos, que quedan colgados a ambos lados formando terrazas fluviales.



Abajo, formas de transporte fluvial: por deslizamiento y rotación; por salto; material fino en suspensión; material en disolución; material muy ligero flotando en la superficie.



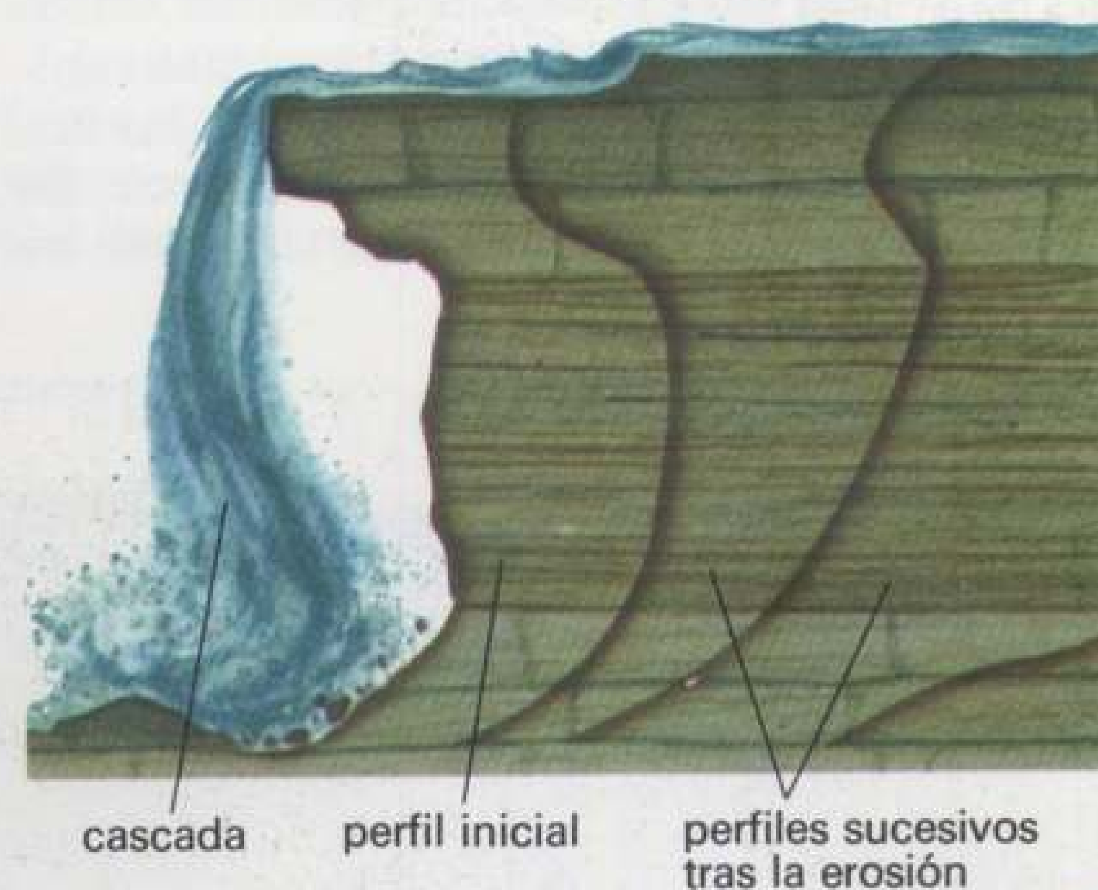
disminuido tanto su velocidad que incluso los sedimentos más finos, arenas, limos y arcillas, precipitan sobre el fondo. Esto da origen a barreras y bancos de arena, que se conocen como depósitos de delta, y que a veces se acumulan hasta bloquear el propio avance del río.

Incapaz de salvar estos obstáculos, el curso de agua se hace todavía más lento y divergente, formando un abanico de canales entrelazados entre cuyas ramificaciones continúan acumulándose sedimentos. Esta zona de intensa sedimentación se llama *delta* y suele tener, en planta, una forma groseramente triangular (de ahí su nombre). Los deltas tienden a extenderse hacia el interior de las cuencas, pudiendo, a la larga, colmatarlas.

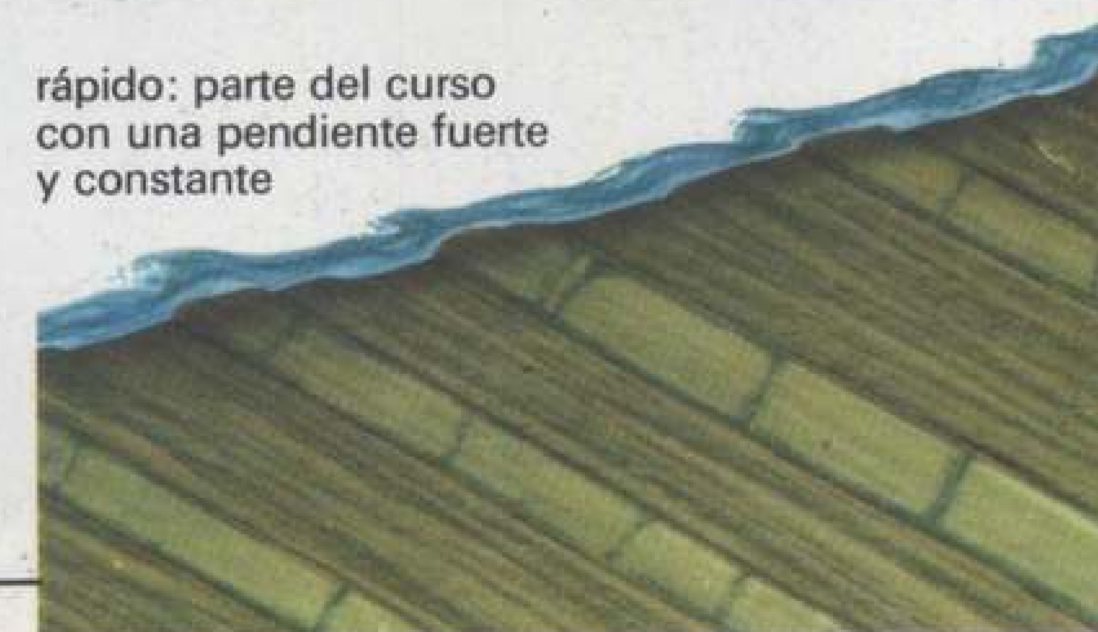
Algunos de los grandes sistemas fluviales del mundo, como el Amazonas, el Ganges, el Nilo, el Mississippi y el Ródano, han construido gigantescos deltas en sus desembocaduras. La magnitud de la carga de sedimentos aportada al mar por estos gigantes es superior a la capacidad de dispersión de la misma por la acción de las corrientes marinas litorales. El resultado es la formación del delta.

Fases de la evolución de un río Los ríos nacen, generalmente, a partir de un manantial de aguas subterráneas, de un torrente de montaña, del deshielo de un glaciar o de la combinación de varias de estas posibilidades.

Los torrentes de montaña son verdaderos ríos jóvenes ya que constituyen la fase







En la página anterior, abajo, vemos cómo la alternancia de rocas duras, resistentes a la erosión, y de rocas blandas provoca la formación de saltos en un curso de agua. Bajo estas líneas, río discurriendo sobre un valle excavado en la roca y relleno de sedimentos. En una etapa posterior el río profundiza su cauce sobre el basamento rocoso, erosionando los antiguos sedimentos; los nuevos sedimentos son depositados en el fondo del valle, que es bastante más profundo (parte inferior del esquema). Abajo, una imagen tomada desde el espacio de la desembocadura en estuario del río Zeng Yang donde éste aporta al mar su carga sólida.



inicial del desarrollo de éstos. Los torrentes se caracterizan por fuertes pendientes, corrientes veloces, rápidos y cascadas, que se forman cuando el agua encuentra dificultades erosivas en su curso, responsables de las irregularidades en el perfil longitudinal del río. A causa de su velocidad, la acción erosiva de los torrentes de montaña es muy intensa. El resultado es una rápida profundización y encajamiento del lecho, con formación de gargantas y cañones. El río Colorado (EE UU) es el responsable de la formación del mayor cañón del mundo, el Gran Cañón, de 1.830 metros de profundidad y con una anchura de 11 a 24 a kilómetros.

Cuando el gradiente de inclinación del río disminuye, también lo hace la velocidad de la corriente.

Constituyen una excepción los ríos que son alimentados por afluentes procedentes de montañas nevadas, que a veces recorren grandes distancias en regiones áridas con una velocidad considerable. En la mayoría de los casos, al suavizarse el perfil del río, éste se hace más lento y entra en la llamada fase de madurez. En lugar de discurrir a lo largo de cañones o gargantas en forma de "V", en esta fase el río circula por valles abiertos. Un fenómeno que caracteriza esta fase es el de la formación de meandros. Perdida su fuerza inicial, los ríos empiezan a divagar por sus propias llanuras de inundación, dando lugar a un trazado serpenteante. Las curvas del río, llamadas *meandros*, pueden terminar estrangulándose, al acentuarse su curvatura. El resultado suele ser un meandro abandonado, en forma de herradura, fuera del curso principal. Los meandros favorecen la ampliación del valle y, al mismo tiempo, sirven para distribuir los ricos depósitos aluviales. Así, los ríos se encuentran por lo general en distintas fases de evolución según la parte del curso que se considere: estadio juvenil en las cabeceras y senil junto a las desembocaduras.

Un amigo peligroso Alrededor de 1,9 millones de km^2 de tierra cultivable se encuentran irrigados por ríos. En el pasado, la enorme fuerza de la corriente fluvial era utilizada para mover sencillos molinos. Actualmente, ésta se emplea para la producción de energía eléctrica, y con tal objeto el agua se canaliza mediante conducciones forzadas con objeto de mover las enormes turbinas de las centrales hidroeléctricas.

No obstante, y como ocurre con cualquier otro fenómeno natural, los ríos tienen, junto a esos aspectos positivos para el hombre, algunos también negativos, que pueden llegar a ser incluso catastróficos. Tal es el caso de las inundaciones, debidas a deshielos bruscos o a lluvias torrenciales, que en algunas regiones del mundo tienen carácter estacional: por ejemplo, las producidas por los ríos del sur de Asia, como el Huang-Ho, capaz de inundar cerca de 30.000 km^2 de tierra al año. En una de dichas inundaciones, la de 1887, se produjeron aproximadamente un millón de víctimas entre ahogados y muertos por el frío. Un desastre parecido tuvo lugar en 1841 por una crecida del Indo, que terminó con un ejército completo.

Hoy en día, los sistemas de control fluvial existentes aumentan considerablemente los márgenes de seguridad para las poblaciones que viven junto a los cursos de agua. Pese a sus riesgos, los ríos siguen siendo, como en el pasado, imprescindibles para el desarrollo de la humanidad.

Véase **Albufera; Agua, ciclo del; Erosión; Geomorfología; Lago**

NASA

Robótica

Hasta hace pocos decenios, ni el más imaginativo empresario habría podido concebir lo que hoy es ya una realidad cotidiana: la entrada de los robots en el ámbito de la producción y de la actividad humana.

Los "obreros de acero" han pasado de la ciencia ficción a las cadenas industriales de montaje. Los robots han demostrado ser especialmente válidos para realizar aquellos trabajos sencillos y repetitivos que resultan pesados para el hombre. Son también ideales en el manejo de material peligroso o en lugares nocivos.

Partes mecánicas Los robots pueden tener diferentes formas. Uno de los primeros robots industriales, el *Planorobot*, estaba provisto de una mano mecánica en el extremo de un brazo extensible que podía bajar o elevarse y girar sobre un eje vertical hasta cualquier posición. Las formas de los robots que se utilizan actualmente en la industria han sido diseñadas para cumplir una función específica. Entre los robots industriales modernos figuran el *Unimate* y el *Versatran*. El primero tiene un brazo extensible, montado en un bastidor, que puede girar hacia arriba y hacia abajo, mientras que el *Versatran* posee un brazo horizontal que puede elevarse o descender a lo largo de una guía vertical.

Las funciones del robot son controladas por un ordenador. Sensores especiales pueden capacitar al robot para detectar el calor, la presión o la resistencia, haciéndole posible identificar correctamente los objetos en un campo de visión limitado.

Una de las tareas principales que realizan actualmente los robots es su participación en las cadenas de montaje de automóviles.

En la industria automovilística se utilizan máquinas robotizadas para soldar, inspeccionar y manejar las piezas prensadas y pintar a pistola.

En las centrales nucleares, el empleo de los robots está destinado principalmente a la manipulación peligrosa de materiales radiactivos.

De los 20.000 robots censados en el mundo a principios de los años ochenta, más de la mitad han sido construidos por los japoneses. Una sociedad japonesa utiliza robots con cámaras de televisión para inspeccionar las partes sumergidas de las plataformas petrolíferas marinas y el casco de las naves. Otra sociedad ha puesto a punto un robot "vidente" que puede distinguir entre las diferentes especies de peces y apreciar sus medidas para poderlos separar automáticamente en los distintos contenedores. El último desarrollo en la automatización de los robots lo ha alcanzado una importante industria japonesa que dispone de una cadena de montaje en la cual los mismos robots construyen otros robots. Algunos robots han sido también preparados para ser utilizados en los programas espaciales. El laboratorio JPL de la NASA, en Pasadena (California), ha creado una unidad con cuatro ruedas, que dispone de un brazo electromecánico, de dos ojos con cámara de televisión y un telémetro láser con el cual inspecciona la superficie del planeta.

Peligro tecnológico El término robot viene de la palabra checa *robota* (trabajo). Este término fue introducido en 1921 por el comediógrafo checoslovaco Karel Capek, en su comedia titulada *Rossum's Universal Robots*, es decir, Robots Universales de Rossum. Se trataba de una polémica en contra de la tecnología, en donde se imaginaba un mundo en el cual los robots desarrollaban un alma que les inducía a revelarse contra sus dueños humanos y destruirlos.

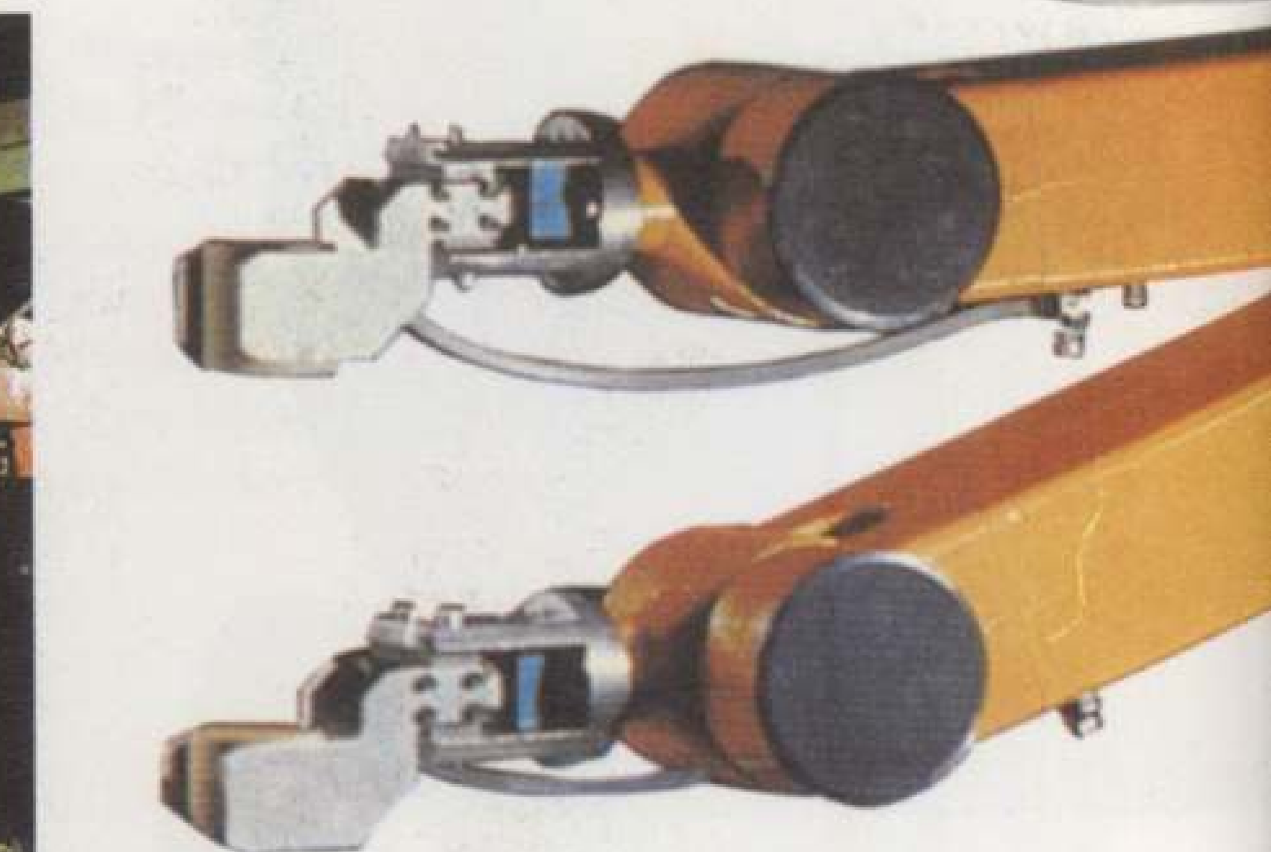
La actual generación de robots difícilmente podría plantear una amenaza semejante, ya que no dispone de una "inteligencia" tan formidable y discriminatoria.

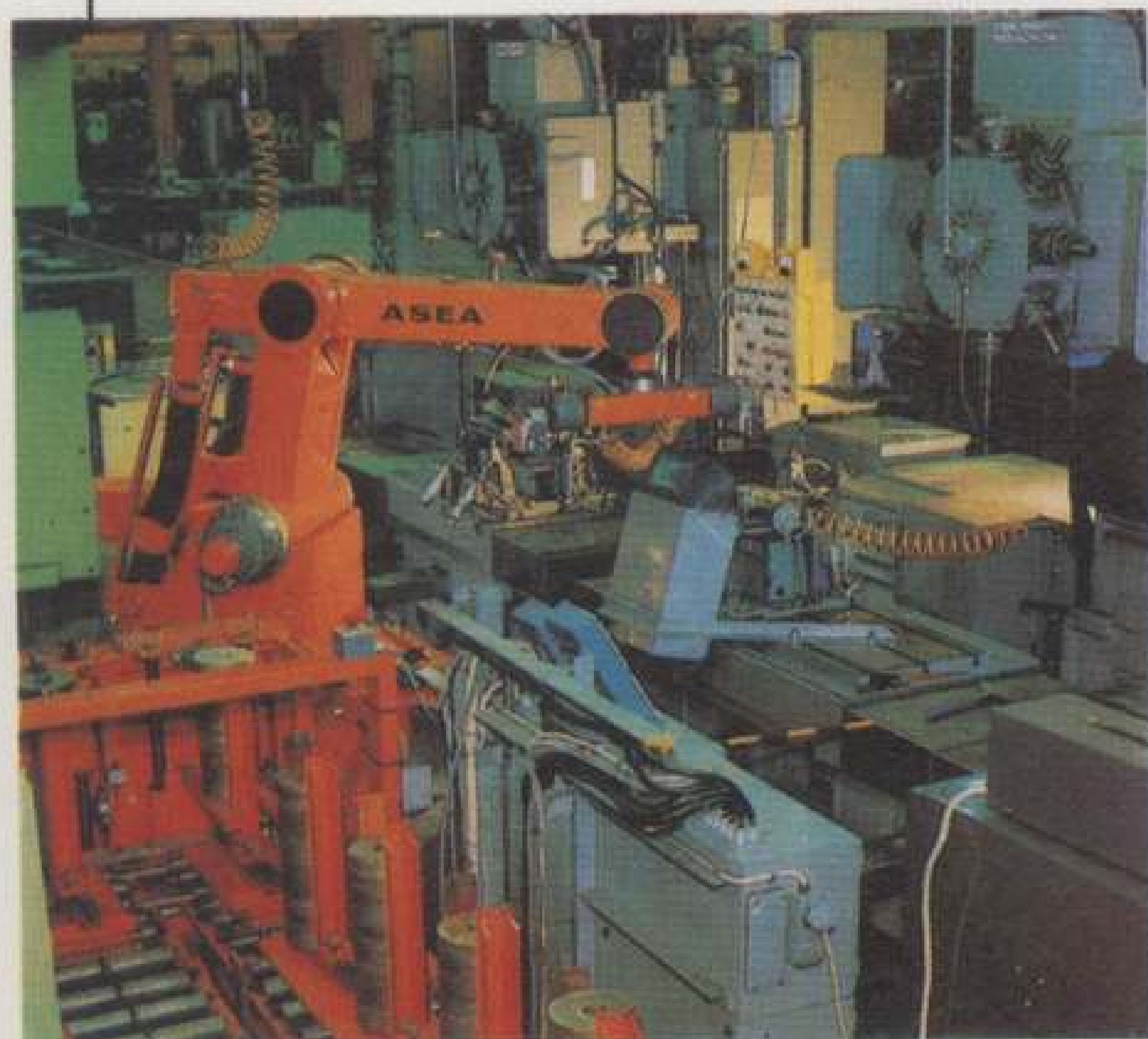
Sin embargo, esta situación puede cambiar, ya que, aunque la tecnología de los robots se encuentra todavía en sus albores, los extraordinarios progresos en la producción de microcircuitos, junto a las investigaciones cada vez más sorprendentes en el campo, todavía en desarrollo, de la inteligencia artificial, están haciendo que los ordenadores sean cada vez más sofisticados y estén al alcance de todo el mundo.

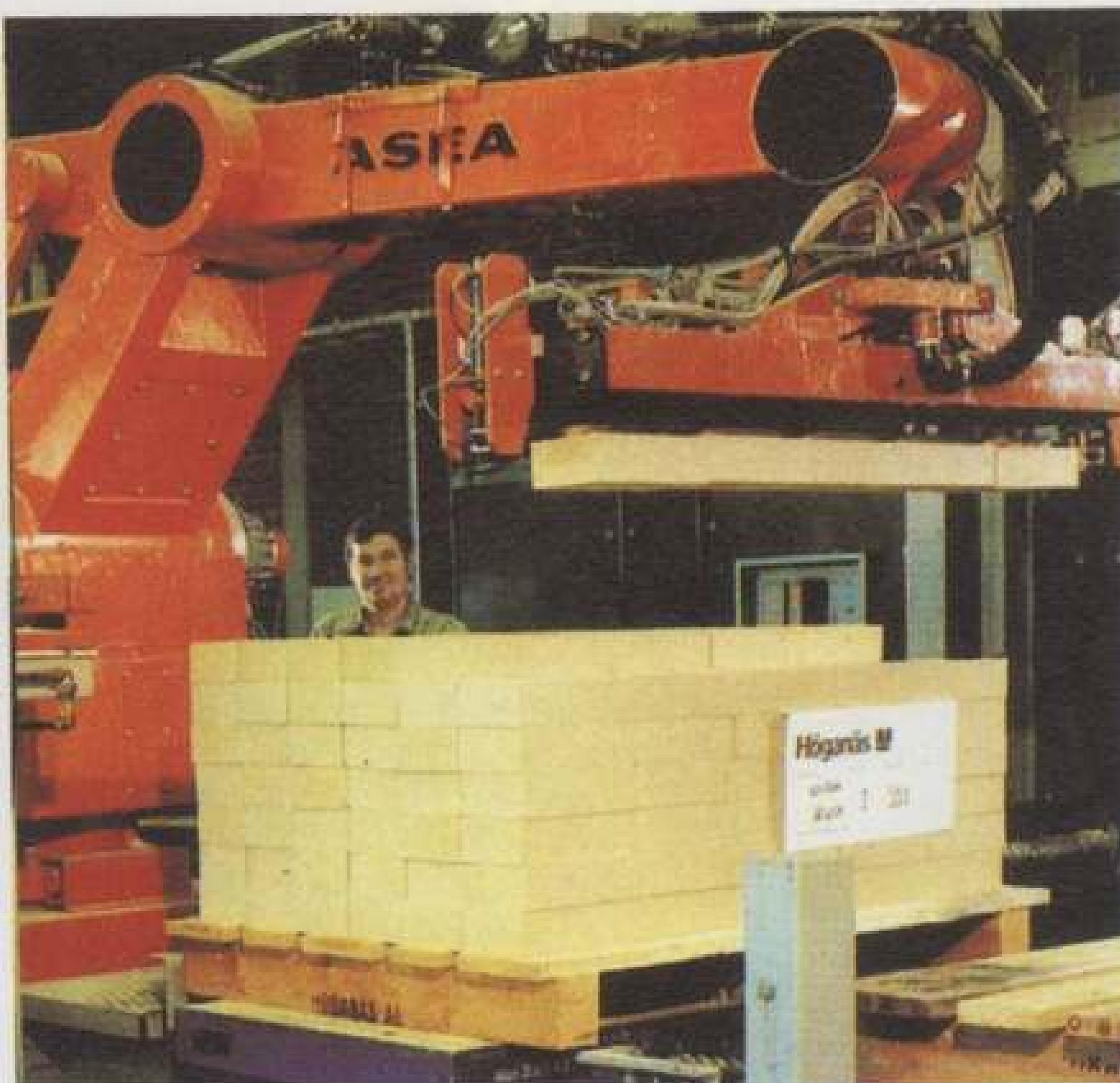
Véase **Automatización**

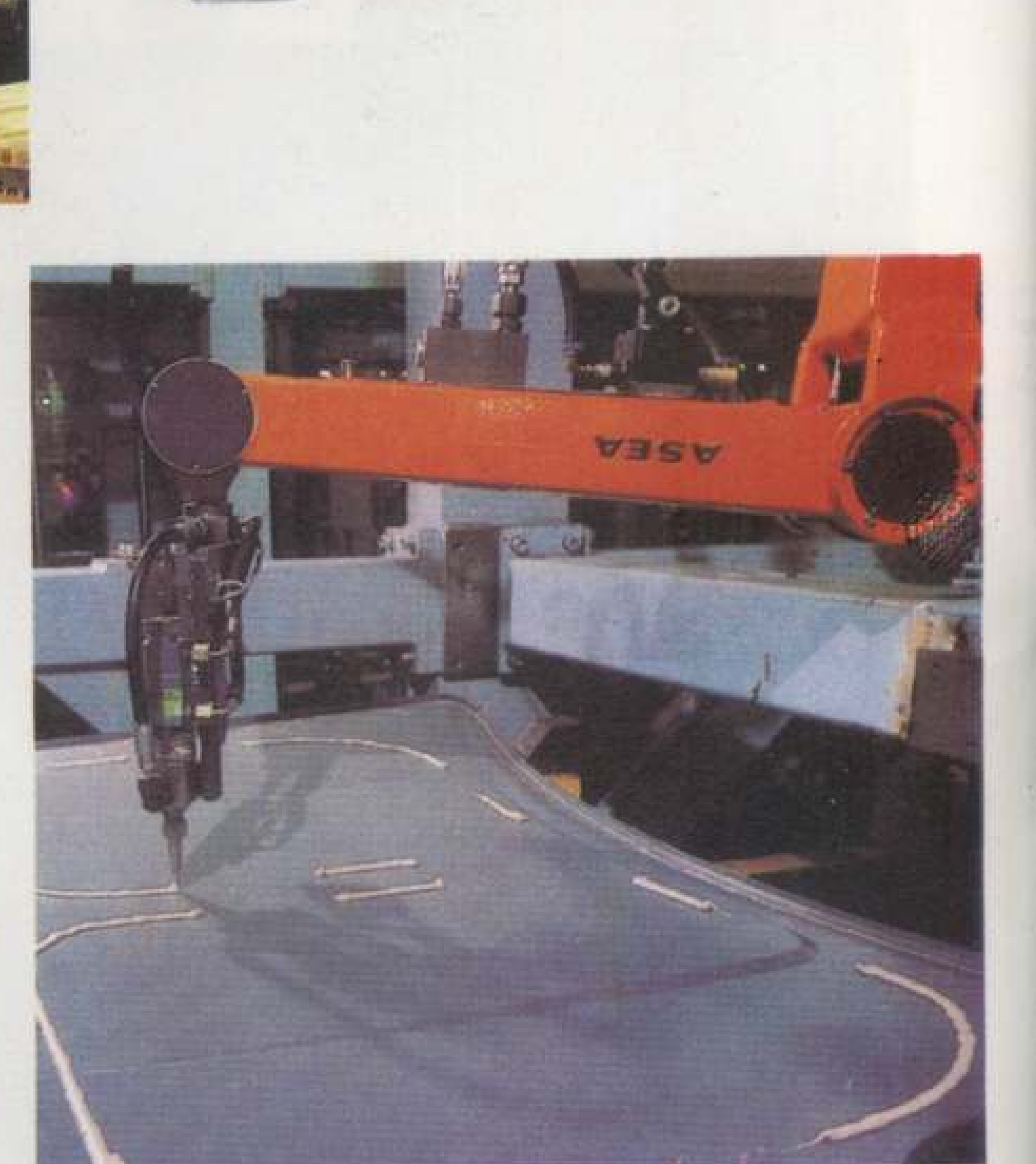








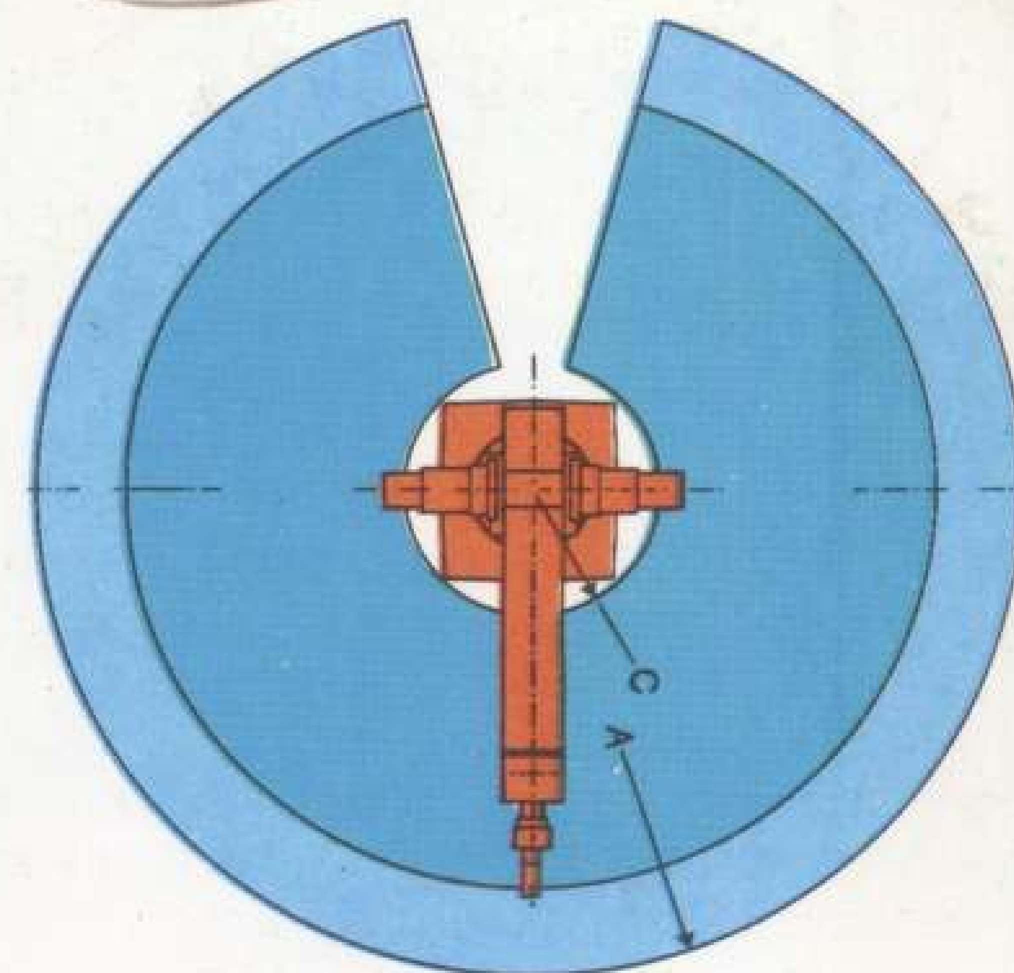


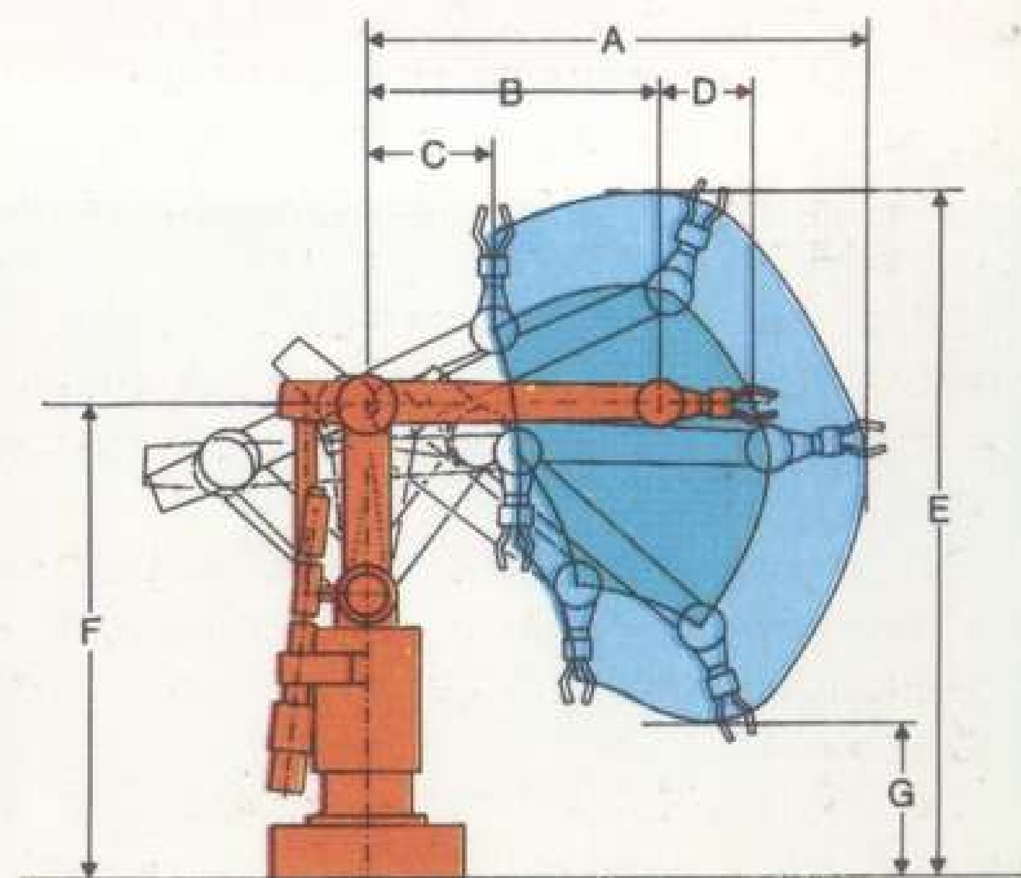


En el centro de la página, a la izquierda, se ve cómo un robot monta una pieza en el mandril de un torno; al final de la mecanización, la desmontará. Es una operación aburrida y peligrosa, apta para ser efectuada por un robot. A su derecha, un robot apilando ladrillos para su embalaje.

En la página anterior, arriba, la mano de un robot acercando una pieza, de la cual hay que eliminar la capa de óxido, a una muela de carburo de tungsteno. Abajo vemos un robot extendiendo el brazo, dentro de un contorno preciso, sobre una superficie de plástico que será pegada según un determinado dibujo. En el centro de esta página vemos un robot con su brazo desplegado en las distintas posiciones que puede asumir, y con su mano, u órgano de agarre, en las distintas orientaciones que le son permitidas. Una característica esencial del robot es la de poder mover grandes pesos y, al mismo tiempo, poder efectuar desplazamientos y contactos con gran delicadeza. Son, además, características esenciales la velocidad y la aceleración. Sin embargo, la más importante de todas es la versatilidad en su aprendizaje. Efectivamente, los robots son muy útiles por la facilidad con la cual aprenden cualquier trabajo nuevo sin requerir una difícil programación. Generalmente, la forma de efectuar esta programación consiste en que un operador ya experto guía la mano del autómata en sus habituales movimientos (robot tipo "playback"). Una vez programado, el robot repite la operación automáticamente.

Abajo vemos un robot unido al terminal que contiene los circuitos de memorización de los movimientos y los mandos. A su derecha, un típico robot con el esquema de todos los puntos del espacio circundante que puede alcanzar, es decir, de su zona de trabajo. Arriba, una vista en planta en la cual se observa que el radio de acción es de casi 360°. También de perfil, el radio de acción es extenso; se puede realizar el máximo esfuerzo en todas las direcciones.





Rocas

La observación de las rocas, especialmente si éstas son muy compactas y duras, puede sugerir en el profano la idea de inmutabilidad, solidez, eternidad. En realidad, la corteza terrestre está sometida a cambios constantes, no sólo en su configuración, sino también en la naturaleza de los materiales que la componen. Cualquier roca tiene una historia de formación y destrucción, procesos estos que transcurren a lo largo de muchos millones de años, y que, evidentemente, también se dan en la actualidad.

Las primeras rocas del Universo Actualmente se admite que los sistemas planetarios se formaron por concentración de "materia dispersa" (en forma de meteoritos) dentro de una nebulosa giratoria. A continuación se produciría un colapso, debido a la fuerza de la gravedad, cuya consecuencia fue la producción de elevadísimas temperaturas que fundieron los materiales del planeta que se estaba formando. Posteriormente se supone que los materiales fundidos se separaron de acuerdo con sus distintas densidades, dando lugar a "capas" de distinta composición.

Hace unos 4.600 millones de años, la Tierra tenía un tamaño menor que el actual, pero estaba en constante aumento, debido a las colisiones con meteoritos y a la captación de "polvo cósmico". Se calcula que unas 200.000 toneladas de polvo cósmico caen cada año sobre la Tierra.

Tipos de rocas Las rocas se suelen clasificar en tres grandes grupos, atendiendo a su mecanismo de formación: endógenas, sedimentarias y metamórficas.

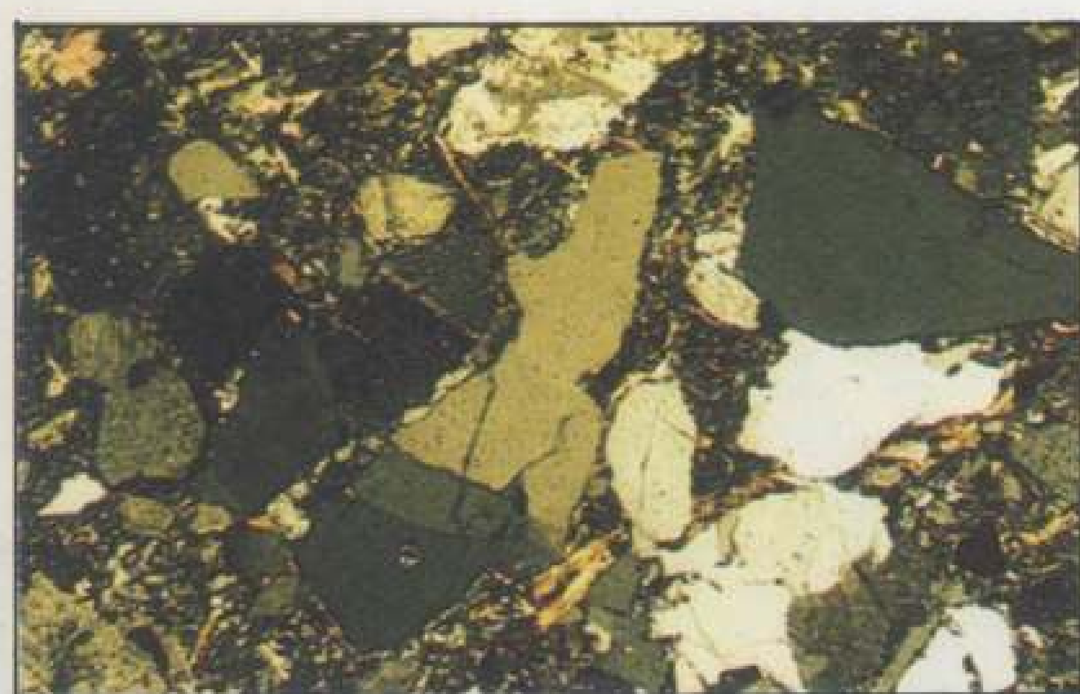
Cuando los distintos tipos de rocas alcanzan la suficiente profundidad, las condiciones de presión y temperatura en el interior de la Tierra producen su fusión, originándose así los magmas. Las *rocas ígneas*, como el granito, se forman por enfriamiento progresivo del magma.

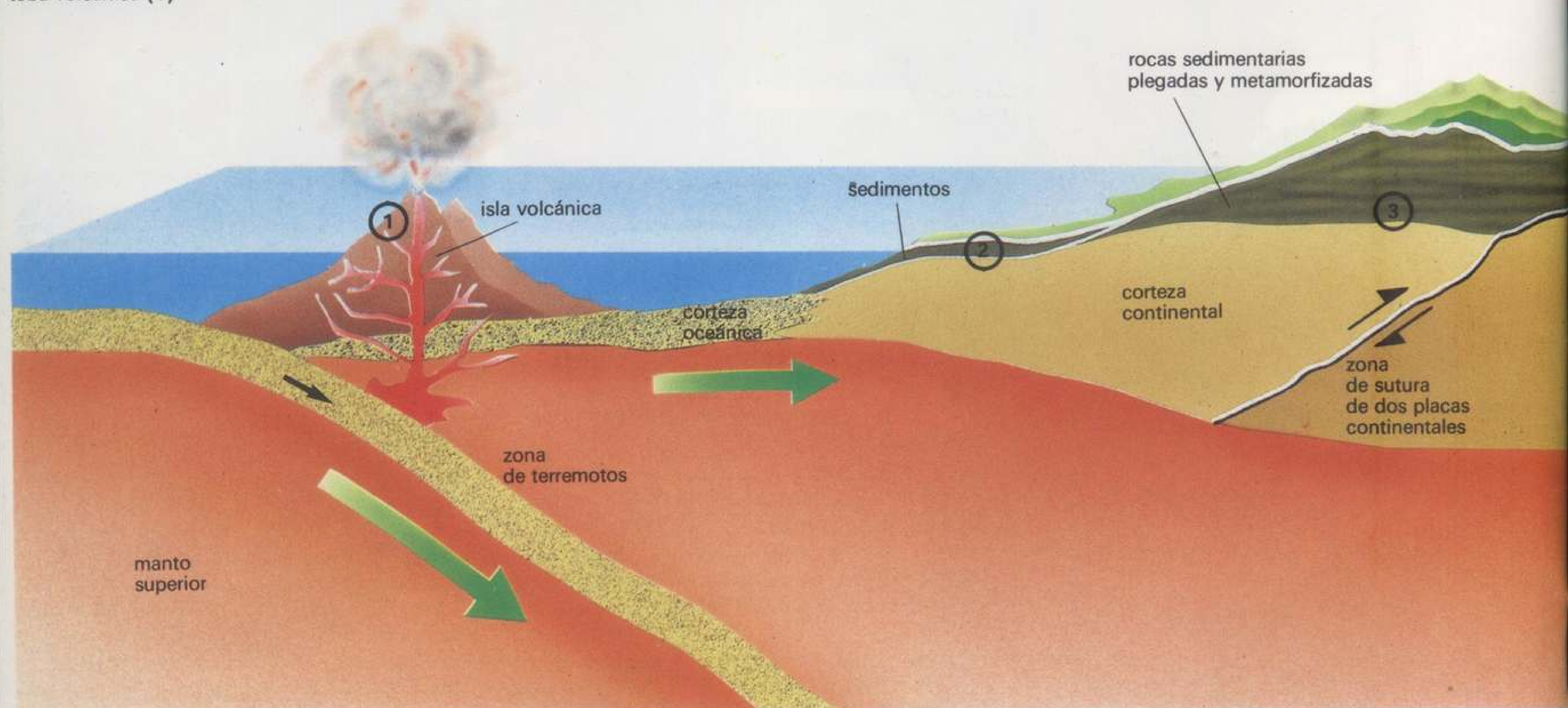
Cuando el magma asciende a la superficie, debido a fenómenos volcánicos, se enfría rápidamente en contacto con la atmósfera o el agua del mar, dando lugar a las *rocas volcánicas*.

Las *rocas sedimentarias* se clasifican en distintos grupos de acuerdo con su origen, composición, tamaño de grano, etc. Tienen en común que todas se han formado por un proceso de sedimentación, cuando los productos que han resultado de la erosión de otras rocas dejan de estar en suspensión en los distintos medios de transporte (agua, aire, hielo) y se depositan por acción de la gravedad, sufriendo una posterior compactación.

Las *rocas metamórficas* pueden proceder de cualquiera de los tipos anteriores. Son rocas que se ven sometidas gradualmente a condiciones de presión y temperatura distintas a las que existen en superficie. Como consecuencia del proceso de metamorfismo, que aumenta en profundidad, van apareciendo ciertos minerales que son estables en las nuevas condiciones de presión y temperatura. Por ejemplo, los minerales de la arcilla se transforman en moscovita y clorita; a mayores profundidades aparecen la biotita y la ortosa. Es decir, al progresar el metamorfismo se forman distintos tipos de rocas. En el ejemplo que estamos viendo la arcilla se transformará en pizarras, micacitas, esquistos o gneis, dependiendo de la profundidad alcanzada.

Lo expuesto anteriormente revela que a lo largo de la historia de la Tierra se han


toba volcánica **(1)**



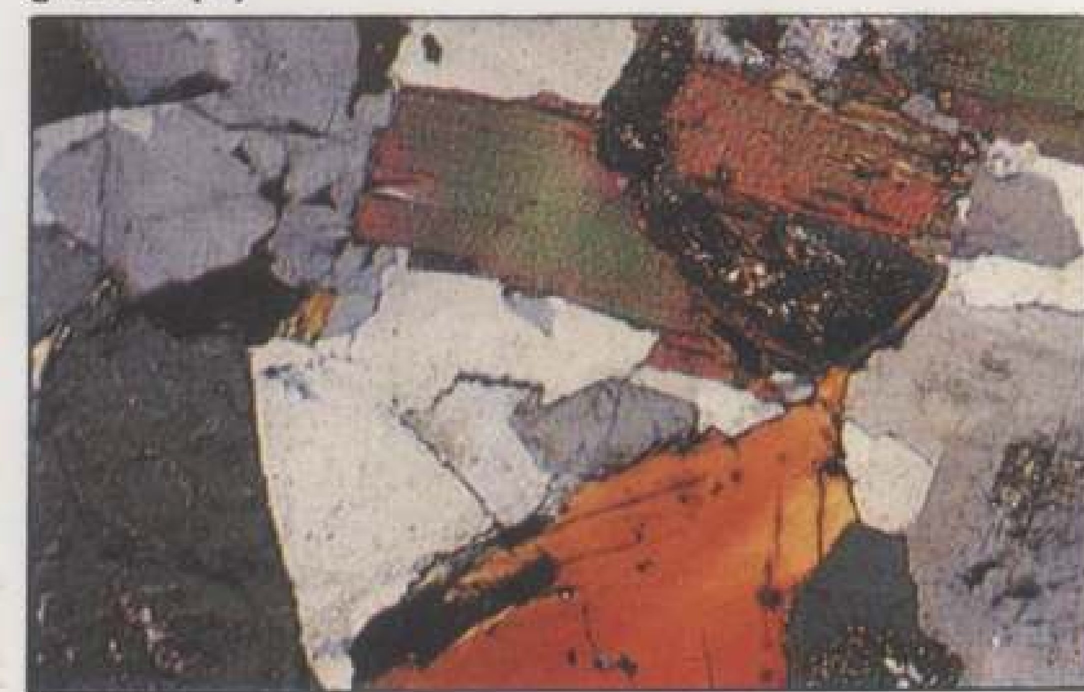
arenisca **(2)**



micaesquisto **(3)**



granito **(4)**



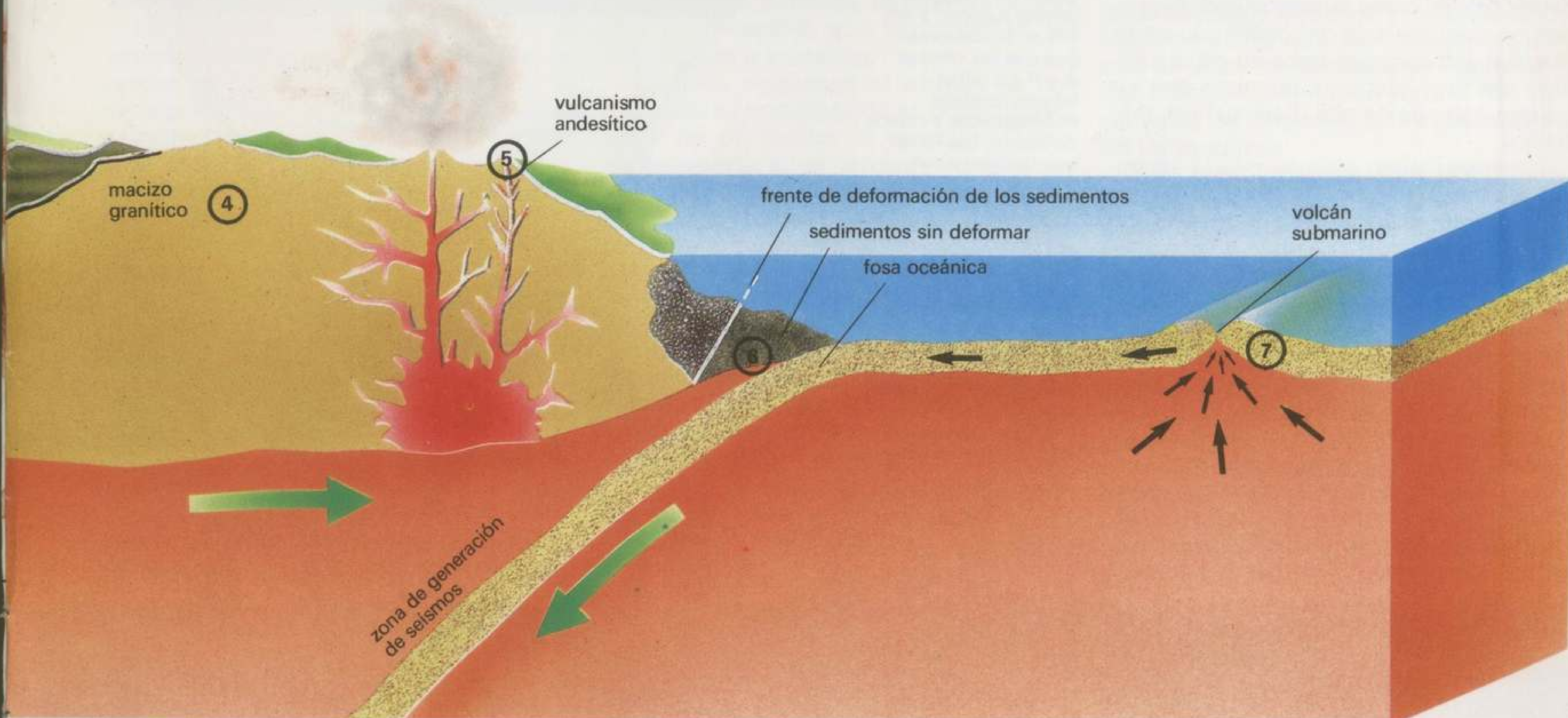
producido muchos cambios en la constitución de la corteza terrestre, y que estos cambios continúan en la actualidad a un ritmo muy lento.

El ciclo geológico de las rocas Las rocas que forman la corteza terrestre evolucionan en un ciclo cerrado. Como ya se ha visto, por la consolidación del magma profundo se originan las rocas ígneas, como el granito. La erosión puede provocar el desprendimiento de granos de cuarzo del granito, y éstos, a su vez, ser arrastrados por un torrente o un río, hasta ser depositados en el cauce o en la desembocadura. Cuando la cantidad de sedimentos depositados por el río es considerable, éstos se compactan y pierden agua, dando lugar posteriormente a rocas sedimentarias, como puede ser una arenisca. Cuando estos sedimentos alcanzan niveles profundos de la listosfera, y están sometidos a condiciones de alta presión y temperatura, dan lugar a rocas metamórficas. Por ejemplo, si los sedimentos que se hunden en la litosfera son arcillas, su metamorfismo dará lugar a pizarras o esquistos, que, por diversos fenómenos geológicos, podrán aflorar de nuevo a la superficie terrestre y volver a sufrir el mismo ciclo de erosión, transporte y sedimentación; si las rocas, en vez de aflorar, continúan sometidas a presiones y temperaturas cada vez más elevadas, regeneran los magmas profundos, cerrándose de este modo el ciclo general de las rocas de la corteza terrestre. Un ciclo completo tiene una duración de cientos de millones de años.

Las modificaciones que se producen en las rocas pueden ser exclusivamente físicas, sin que se modifique su naturaleza química, o petrogenéticas, que ocasionan la aparición de nuevas asociaciones de minerales, originando rocas de composición distinta a la que tenían los materiales primitivos.

Véase **Petrografía; Rocas magmáticas; Rocas metamórficas; Rocas sedimentarias**

Abajo, corte ideal de la litosfera, en el que se ve una placa continental, de composición granítica, dos placas oceánicas de carácter basáltico, más densas que la corteza continental, de manera que al colisionar con ella tiende a sumergirse en el manto superior. Cuando dos placas oceánicas colisionan entre sí, una de ellas cabalga sobre la otra; la fricción entre ambas puede originar un vulcanismo basáltico y dar lugar a una alineación de islas que forman un arco-isla. La colisión de una placa oceánica y una continental origina un vulcanismo rico en feldespato y biotita, llamado andesítico, muy diferente del originado en los arcos-isla. Además, la presión ejercida por las placas comprime los sedimentos que se estaban formando en el borde continental, llegando a metamorfizarlos. La colisión entre dos placas continentales suele dar origen al levantamiento de enormes cadenas de montañas, formadas por las rocas sedimentarias procedentes de los sedimentos que ambas tenían en sus bordes; al ser ambas de composición granítica y tener, por lo tanto, muy baja densidad, no pueden hundirse en el manto superior. Este es una zona de alta densidad en la que las rocas se encuentran sometidas a gran presión y temperatura. Se supone que es sólido, excepto en una zona llamada astenosfera, que al ser fluida sirve de "lubricante" que permite y facilita el movimiento de las placas. Un ejemplo de colisión entre dos placas oceánicas lo tenemos en Japón, donde todo el archipiélago forma un enorme arco insular. La cordillera de los Andes es un ejemplo de colisión entre una placa continental (Sudamérica) y una placa oceánica, con formación de una fosa oceánica de gran profundidad, un metamorfismo de alta presión y un vulcanismo andesítico. En cuanto a la colisión entre dos placas continentales, tenemos un ejemplo en la India, que a finales del Cretácico colisionó con la placa asiática, dando lugar al levantamiento de la cordillera del Himalaya.



andesita **(5)**



serpentina **(6)**



basalto **(7)**



Rocas magmáticas

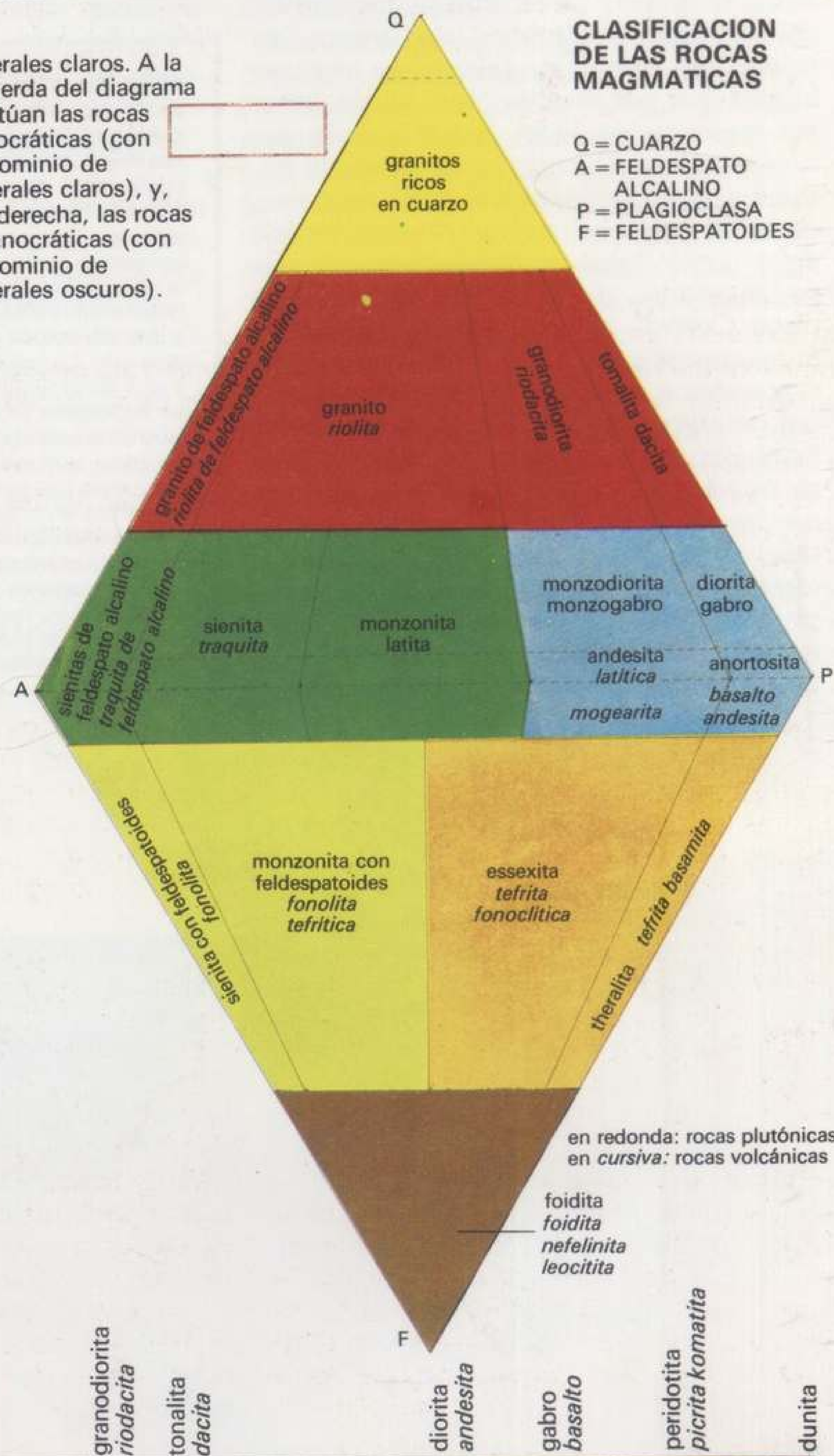
En las zonas profundas de la litosfera, las condiciones fisicoquímicas son muy distintas de las existentes en la superficie de la Tierra. La presión debida al peso de los materiales superpuestos aumenta con la profundidad, lo cual favorece el desarrollo de complejas reacciones químicas en las que se forman minerales, progresivamente más densos, y anhídridos. En estas zonas profundas de la corteza, cerca ya del manto superior, la temperatura es lo suficientemente elevada como para permitir la fusión de las rocas y su transformación estructural.

Cuando las rocas de origen sedimentario llegan hasta profundidades donde se dan las condiciones de presión y temperatura necesarias para su fusión, se forman los *magmas*; éstos pueden definirse como rocas fundidas con una cierta cantidad de gases disueltos. El magma consta, fundamentalmente, de una fracción sólida, consistente en minerales procedentes de la propia cristalización del fundido o de otros materiales arrastrados. La parte volátil disuelta en el magma procede, en un pequeño porcentaje, de los gases incorporados al fundido durante su ascenso a través de la corteza, y, sobre todo, de los existentes en la propia región en la que se formó. Los magmas son, composicionalmente, fundidos silicatados cuyas propiedades físicas, como la viscosidad, dependen en gran medida del contenido en sílice. Así, los magmas ricos en sílice (ácidos) son muy viscosos, mientras que los los que carecen de ella (básicos) son más fluidos.

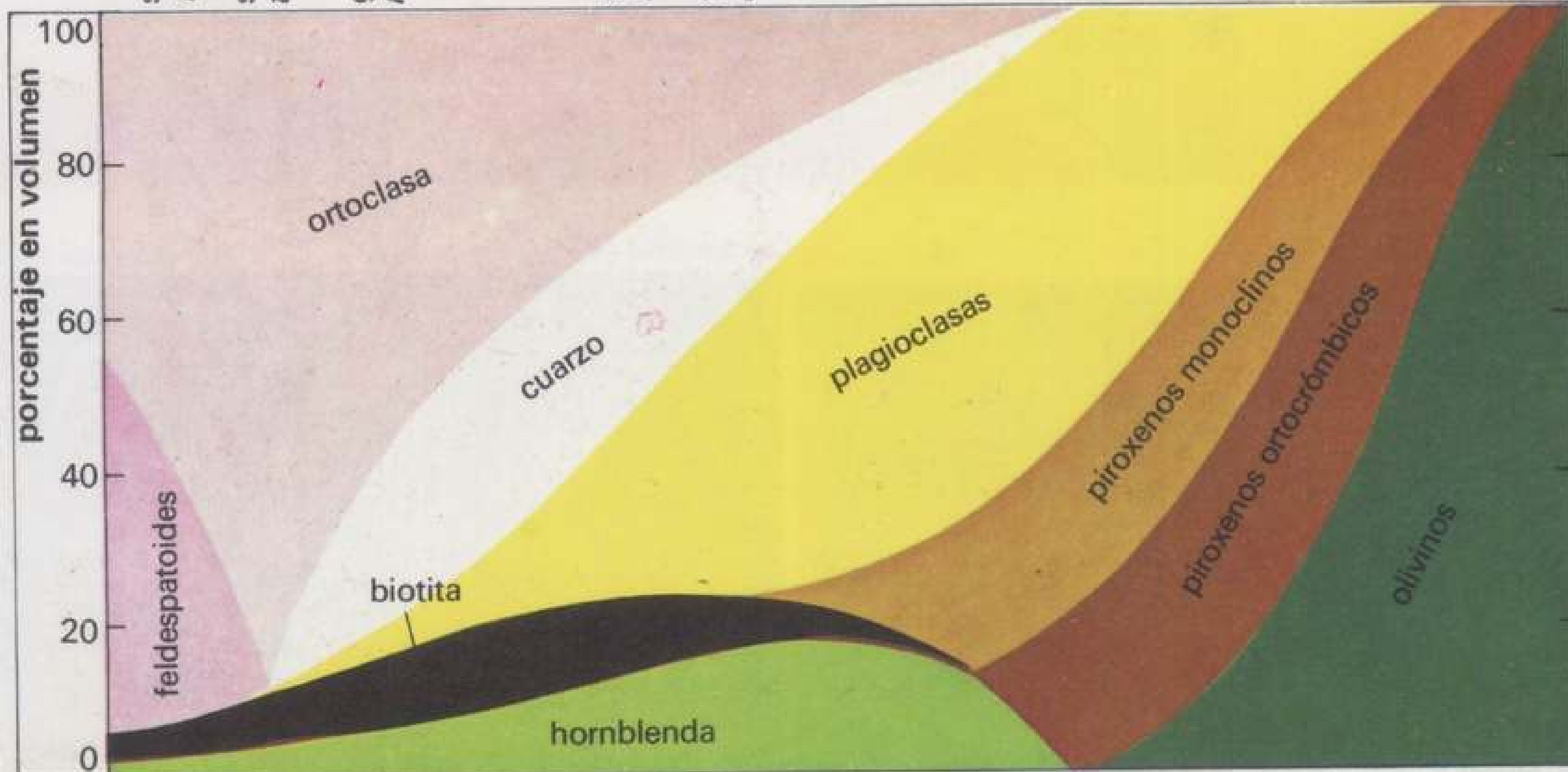
El magma poco viscoso puede ascender fácilmente hasta la superficie terrestre, derramándose sobre la misma en forma de coladas, que se enfrían bruscamente en contacto con la atmósfera o con el agua del mar. Los magmas que alcanzan la superficie dan lugar a las *rocas volcánicas* y su erupción constituye el *fenómeno volcánico*. Por el contrario, los magmas ácidos solidifican normalmente en profundidad, aunque a veces alcancen la superficie en forma de actividad volcánica explosiva. Las rocas resultantes de la cristalización de un magma a profundidad, dentro de la corteza terrestre, reciben el nombre de *plutónicas*. En conjunto, las rocas volcánicas y las plutónicas reciben el nombre de *rocas ígneas* (de *ignis* = fuego, en griego), o *rocas magmáticas*.

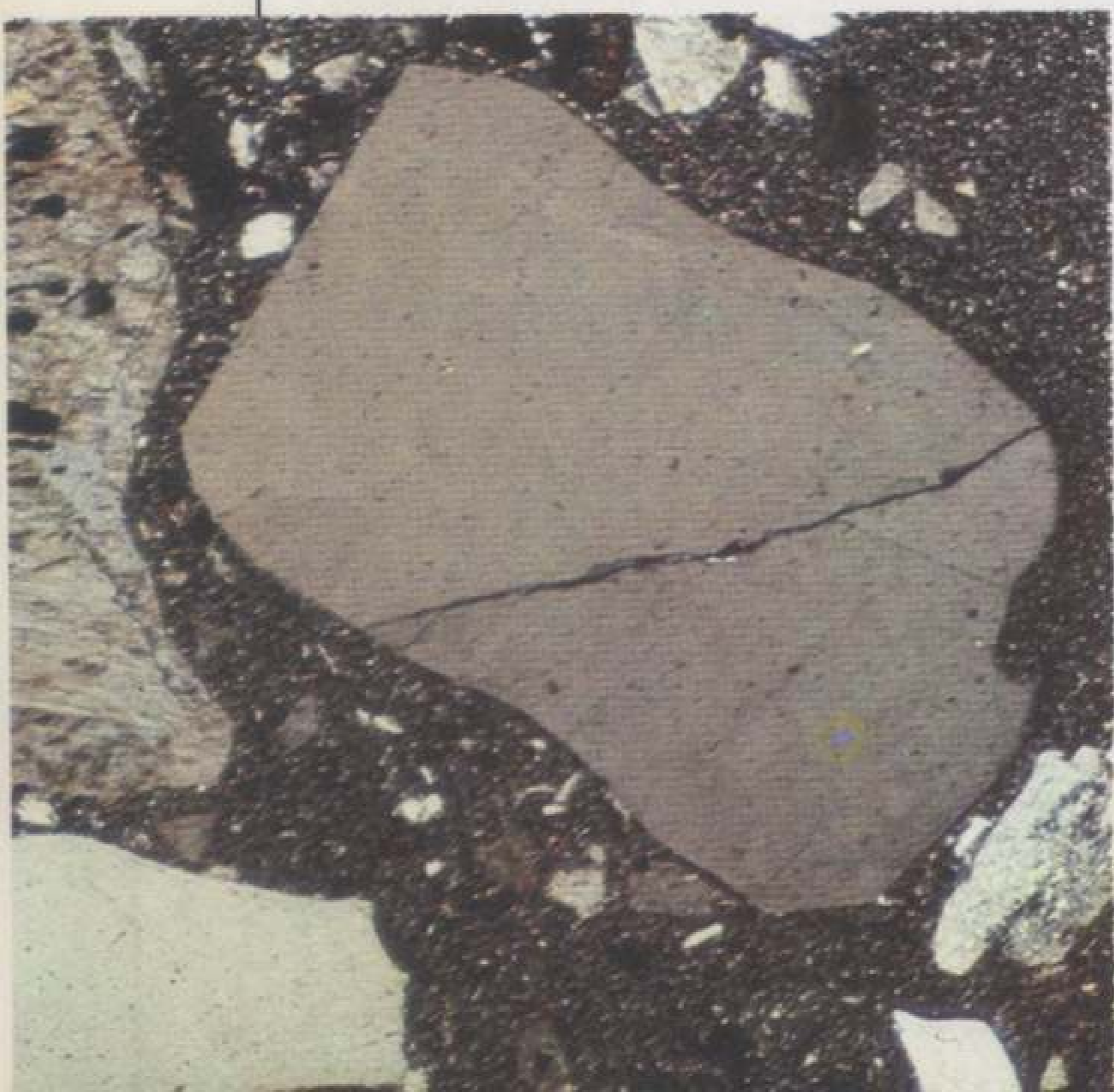
A diferencia de las rocas volcánicas, las rocas plutónicas enfrían lentamente debido a la baja conductividad térmica de los materiales en los que se emplazan. La roca resultante es holocristalina y su textura suele ser de grano grueso. Las rocas plutónicas presentan un marcado carácter intrusivo, ya que, según se ha observado, ocuparon el lugar de rocas preexistentes, la mayoría de las veces fundiéndolas o digeriéndolas, es decir, incorporando sus sustancias.

Un caso intermedio lo constituyen las *rocas filonianas*. Proceden de magmas que rellenan grietas abiertas, que, por lo general, sirven de conducto de alimentación de los volcanes.



Este diagrama se utiliza para la clasificación de rocas magmáticas. Las rocas representadas tienen un porcentaje de minerales oscuros o máficos inferior al 90% (M < 90). Prescindiendo del volumen ocupado por los máficos, como la biotita, anfíboles, piroxenos, olivino, etc., la roca se clasifica en función del porcentaje que contenga de cuarzo (Q), ortosa (A), plagioclasas (P) o feldespatoides (F). Cada vértice del rombo representa el 100% del mineral que lo ocupa. La mitad superior carece de feldespatoides y contiene cuarzo libre, desde un 100%, en el vértice superior, a un 0% en la horizontal que une los vértices A y P. La mitad inferior contiene feldespatoides y carece de cuarzo. Las rocas que contienen más de un 90% de máficos quedan fuera del diagrama y se llaman mafititas. El cuadro inferior representa el porcentaje en volumen de minerales claros y oscuros de las principales rocas; el clinopiroxeno, el ortopiroxeno, el olivino y la hornblenda son oscuros, mientras que el resto se consideran minerales claros. A la izquierda del diagrama se sitúan las rocas leucocráticas (con predominio de minerales claros), y, a la derecha, las rocas melanocráticas (con predominio de minerales oscuros).

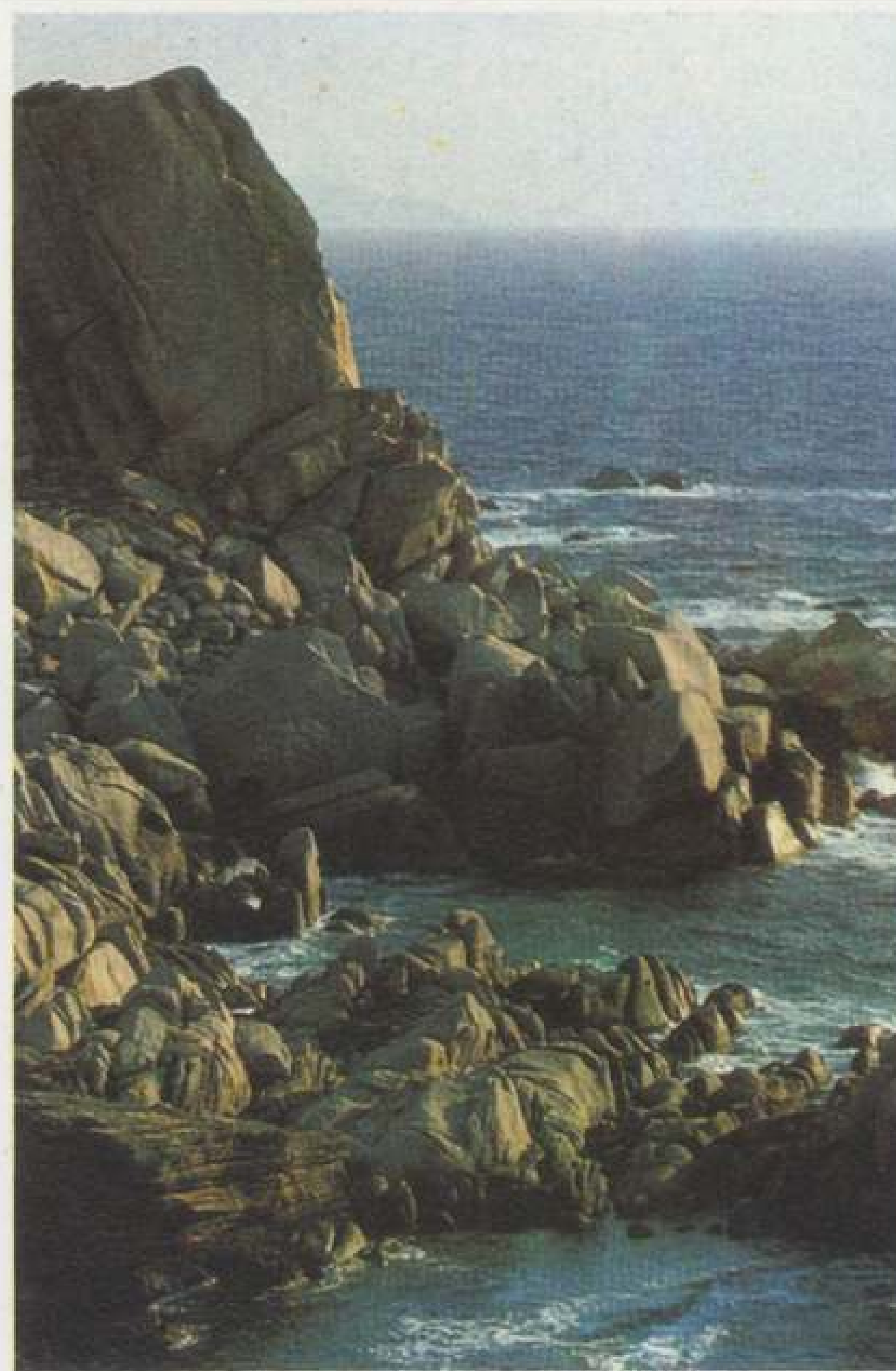




DISTRIBUCION DE LAS ROCAS SOBRE LA SUPERFICIE TERRESTRE

• **Rocas sedimentarias** - 3/4	arcillosas 77% arenosas 15% carbonatadas 8% { calcáreas 6%, dolomías 2% }
• **Rocas magmáticas** - 1/5	
– **Plutónicas** - 90% de las cuales:	granitos, granodioritas y tonalitas 85-88% gabros y dioritas 7-13% sienitas < 1%
– **Volcánicas** - 10% de las cuales:	basaltos 82% andesitas 16% riolitas 2%
• **Rocas metamórficas** - 1/10	

A la izquierda de estas líneas puede verse un cuadro en el que se recoge la abundancia relativa de las rocas que afloran en la superficie terrestre emergida (sedimentarias, magmáticas, metamórficas). En la fotografía de la derecha se observa un paisaje granítico litoral típico. Las seis fotografías inferiores, vistas de izquierda a derecha, y de arriba a abajo, representan: un granito al microscopio en forma de lámina translúcida de unas 30 micras (0,03 mm) de espesor, visto con luz polarizada; una colada basáltica con grietas de enfriamiento; una muestra de obsidiana o vidrio volcánico; un gabro (roca plutónica básica) visto al microscopio (se pueden observar las plagioclasas macladas); una diorita (roca plutónica intermedia) vista al microscopio (los minerales claros son granos de cuarzo); y una formación de cenizas volcánicas estratificadas.



Las rocas ígneas como componente de la corteza terrestre La corteza es la capa más externa de la Tierra, y su espesor varía entre 5 y 10 km bajo los océanos, y entre 30 y 70 km en las regiones continentales. Aproximadamente un 85% del volumen de las formaciones rocosas que constituyen la corteza son de origen ígneo. Sin embargo, en la superficie aflorante el porcentaje es menor debido a su recubrimiento por formaciones de rocas sedimentarias, ya sean detríticas, como las arcillas, areniscas, conglomerados, etc., o calcáreas, como es la caliza.

La evidencia geofísica indica que la corteza terrestre está dividida, a grandes rasgos, en dos zonas: la más externa es la *capa granítica* (el antiguo *sial*), compuesta principalmente por granito, que es una roca plutónica poco densa, y por rocas metamórficas. La más interna (antiguamente llamada *capa basáltica* o *sima*), en contacto con el manto, está compuesta por rocas más densas y anhídridas, llamadas granulitas, cuyas propiedades sísmicas son parecidas a las del basalto.

Rocas ígneas: clasificación Cuando un magma se enfría lentamente, como en el caso de las rocas plutónicas, puede formarse una gran variedad de minerales. La mayor parte de éstos son silicatos, es decir, su unidad estructural básica es el tetraedro de la sílice, formado por un átomo de silicio rodeado por cuatro de oxígeno, que ocupan los vértices del tetraedro. Dependiendo de la disposición espacial que tome esta unidad básica, y de su relación con otros átomos, resultarán distintos minerales.

En el caso de las rocas volcánicas, el enfriamiento del magma es muy rápido, y el grado de cristalización es menor que el de las rocas plutónicas.

Las rocas volcánicas suelen clasificarse de acuerdo con su textura y composición mineralógica. La obsidiana, por ejemplo, posee una estructura vítrea y es de color oscuro. Su enfriamiento ha sido tan rápido que los minerales que la componen no han llegado a cristalizar.

En otras ocasiones, el magma ha comenzado su cristalización en profundidad, antes de producirse la erupción. Como consecuencia, al ser arrojado sobre la superficie, el magma arrastra una carga de cristales, a veces de tamaño considerable, que van a quedar en la roca, aislados en una pasta de grano fino o incluso vítrea. Esta configuración de los minerales que forman la roca recibe el nombre de textura porfídica y es corriente no sólo en las rocas volcánicas sino también en las filonianas. Así, los basaltos, que son la roca volcánica más corriente, suelen estar formados por cristales más o menos grandes de olivino, piroxeno y plagioclasa, inmersos en una pasta de estos mismos minerales con un tamaño de grano muy fino y a veces vítreo.

Las rocas plutónicas se clasifican atendiendo a la proporción de los distintos minerales que se forman durante la cristalización del magma. El criterio que se utiliza es la proporción relativa de cuarzo o de feldespatos alcalinos y calcoalcalinos (silicatos en los que una parte de los átomos de silicio es sustituida por aluminio y que incorporan en la red Na, K o Ca), por ser éstos los minerales más frecuentes en las rocas ígneas.

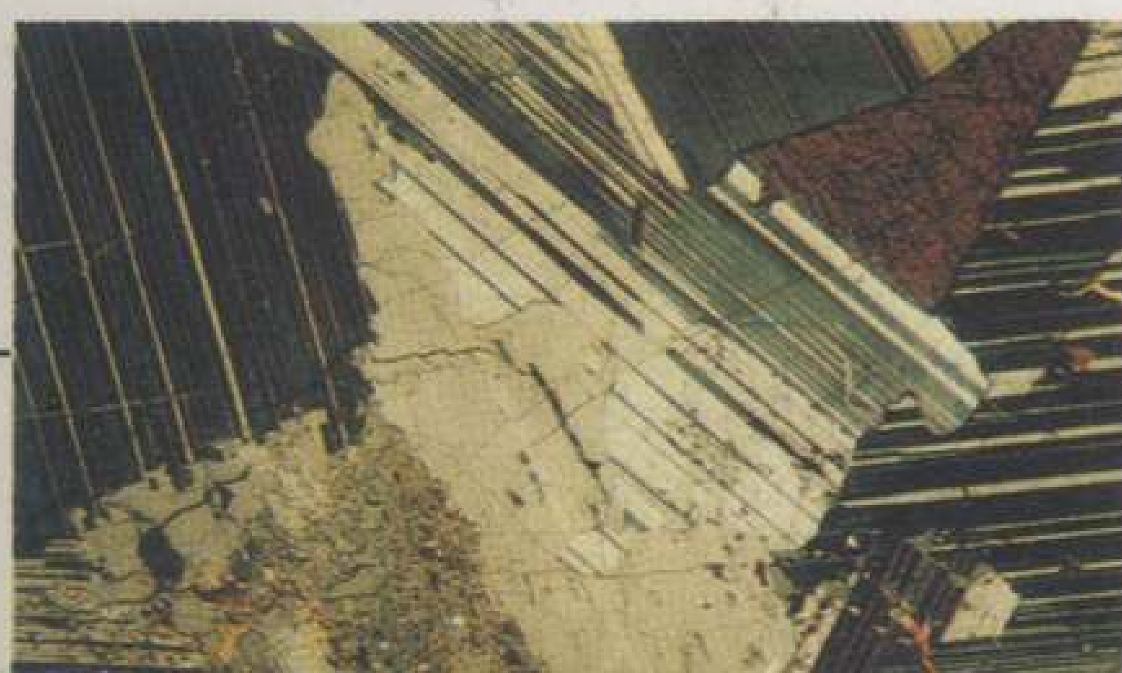
Una roca ígnea se considera ácida cuando contiene más del 66% (en peso) de sílice, lo que se refleja con la presencia en la roca de cuarzo, que es sílice pura (SiO_2). Si, por el contrario, el contenido de este óxido es inferior a un 53%, la roca carece de cuarzo y aparecen otros minerales pobres en sílice, como el aluminio. Un ejemplo de roca básica es el basalto. El granito es una roca plutónica ácida, con aproximadamente un 72% medio de sílice (cuarzo); el 28% restante está formado, fundamentalmente, por feldespatos y mica.

Véase **Corteza terrestre; Manto terrestre; Rocas; Tierra; Volcán**













Rocas metamórficas

El metamorfismo es un complejo proceso geológico mediante el cual las rocas experimentan importantes cambios mineralógicos al quedar sometidas a condiciones distintas a las de su formación. Las rocas resultantes reciben el nombre de *rocas metamórficas*.

El proceso metamórfico tiene lugar en el interior de la Tierra, generalmente dentro de la corteza, y las variables termodinámicas principales que lo provocan son la temperatura y la presión. En algunos casos, el metamorfismo puede ir acompañado de profundos cambios químicos que tienen lugar por la acción de los fluidos, generalmente acuosos, que circulan por las rocas. Este fenómeno recibe el nombre de *metasomatismo*. En cualquier caso, los cambios mineralógicos o químicos persiguen que la roca, como sistema termodinámico, adquiera una configuración más estable frente a las nuevas condiciones fisicoquímicas.

Asimismo, el metamorfismo es un proceso ligado frecuentemente a la orogénesis y va por ello acompañado de importantes modificaciones estructurales de las rocas. La más característica es el desarrollo de una *esquistosidad*, esto es, de una fisibilidad o capacidad de la roca de separarse en lajas al golpearla. Las pizarras son un ejemplo bien conocido de este tipo de estructura. Se forma en niveles profundos y va asociada al desarrollo de pliegues muy comprimidos. Los minerales metamórficos, principalmente las micas, se orientan en planos perpendiculares a la dirección del esfuerzo compresivo principal, confiriendo así a la roca una dirección de partición más favorable.

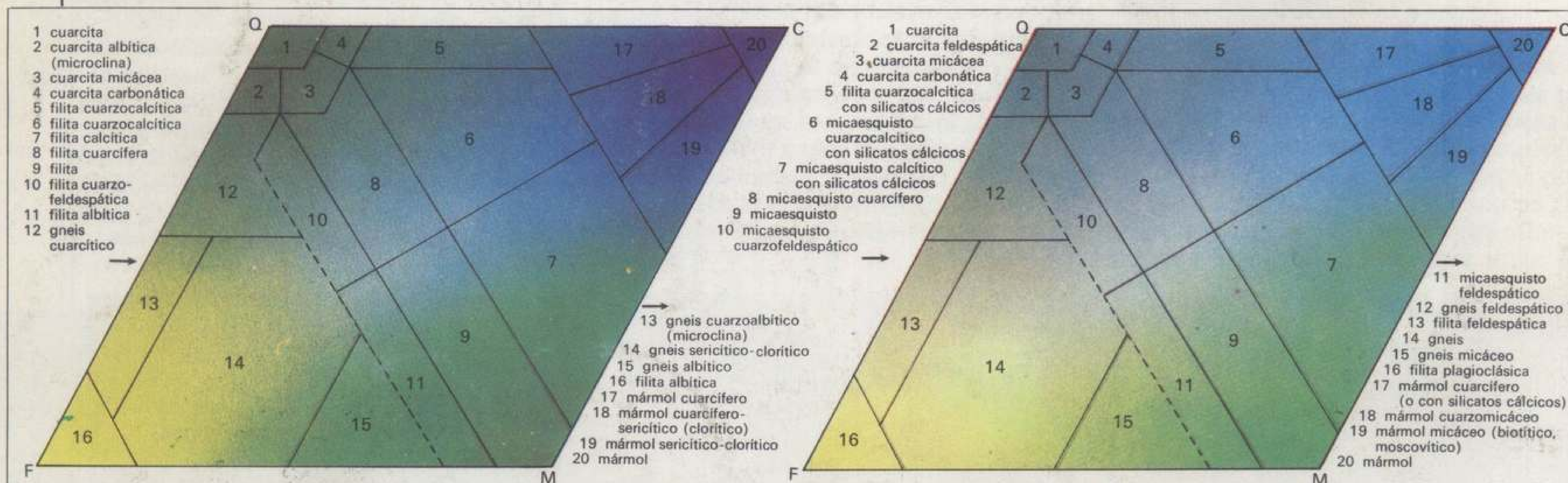
El ciclo petrogenético El metamorfismo es un eslabón de un proceso geológico más amplio, que recibe el nombre de *ciclo petrogenético*. Una roca sedimentaria o volcánica depositada en la superficie del planeta experimenta importantes cambios al ir quedando enterrada bajo nuevos materiales. Al principio, esos cambios son principalmente físicos, por ejemplo, reducción de la porosidad por apelmazamiento, pero también hay cambios químicos por la acción de las aguas circulantes principalmente. Estos cambios a poca profundidad reciben el nombre de *diagenéticos* y son propios del ámbito sedimentario. A partir de un determinado momento, cuando la temperatura, en continuo aumento al aumentar la profundidad, sobrepasa los 150-200 °C, se inicia el metamorfismo. Las rocas experimentan cambios mineralógicos progresivos por reacciones entre sus minerales. Estos procesos persisten hasta los 650-700 °C, momento en que las rocas de origen arcilloso comienzan a fundir, originándose fracciones de magma de composición granítica. Este proceso se llama *migmatización*, y constituye la antesala del campo del magmatismo. Los magmas así generados pueden concentrarse en grandes masas que, al ser menos densas que las rocas envolventes, ascienden hacia niveles corticales más altos, dando lugar a plutones graníticos. Excepcionalmente, esos magmas salen a la superficie en forma de vulcanismo explosivo. En cualquier caso, la denudación por erosión de la cadena transporta a la superficie las rocas metamórficas o plutónicas, formadas en profundidad. Su erosión y transporte a nuevas cuencas de sedimentación inicia de nuevo el ciclo petrogenético.

Evolución de las rocas metamórficas Como se ha visto, el metamorfismo es un proceso condicionado principalmente por las variables presión y temperatura. Asimismo es un proceso en estado sólido, es decir, en el que no participa una fase silicatada fundida como es el caso del magmatismo.

Cada tipo de roca da lugar a una sucesión distinta de rocas metamórficas. Veamos el caso de un sedimento arcilloso formado principalmente por minerales del grupo de la arcilla (illita, caolinita o montmorillonita) y cantidades variables de clorita, cuarzo y feldespatos. Durante el metamorfismo progresivo, las reacciones provocan la desaparición de unos minerales y la formación de otros. Así, se forma moscovita y biotita por destrucción de los minerales arcillosos y de la clorita. Pueden formarse también, según el quimismo de la roca, minerales complejos, como el cloritoide y la estaurolita.

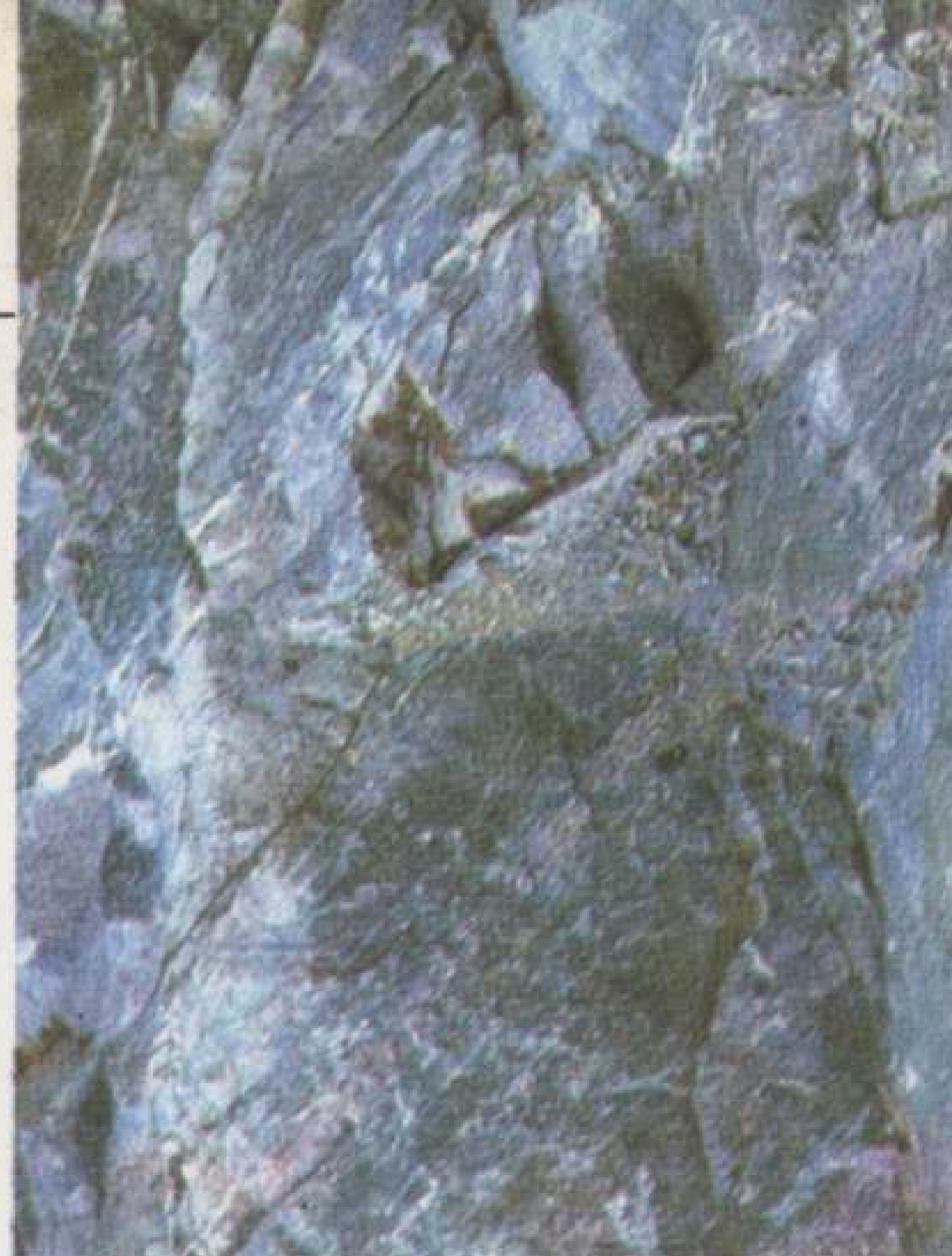
Asimismo, si la presión es relativamente baja, puede aparecer el mineral andalucita y si la presión es alta, su equivalente químico, la distena. A alta temperatura se forma sillimanita, que es también químicamente idéntica a las anteriores.

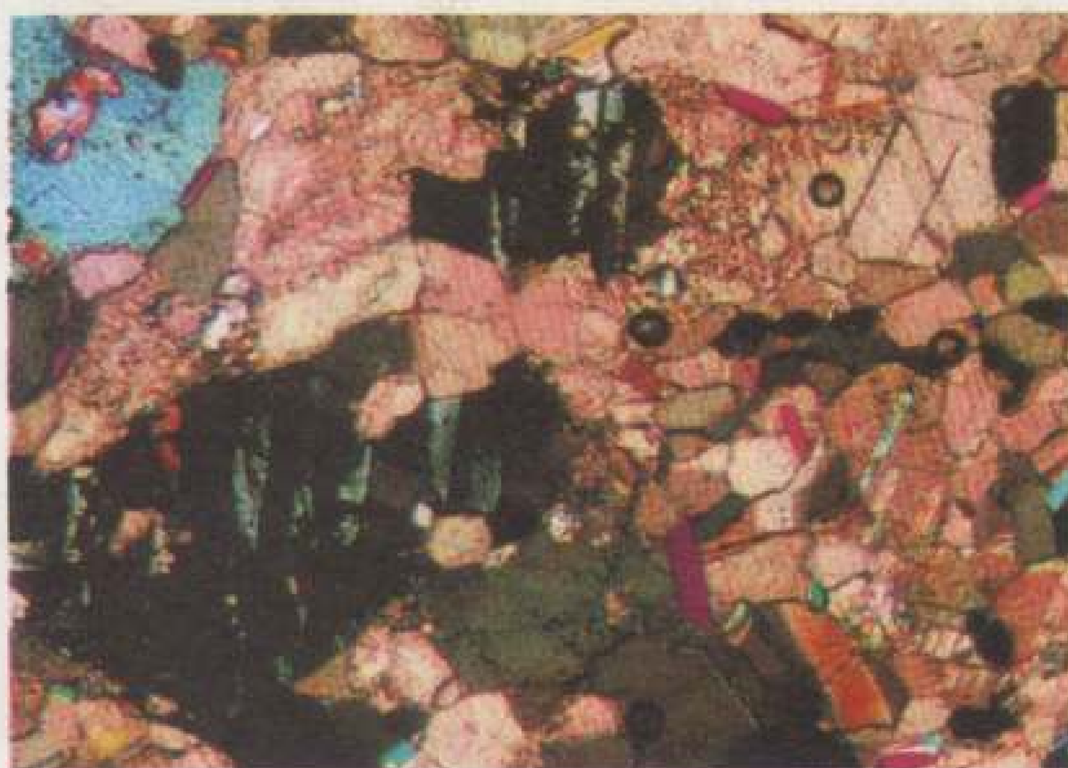
En respuesta a estos cambios, las rocas metamórficas procedentes de la primitiva arcilla aumentan su cristalinidad, esto es, el tamaño medio de los cristales. Por otro lado, la esquistosidad generada por los esfuerzos compresivos orogénicos se hace grosera. La roca pasa así de un primer estadio de pizarra a filita, seguidamente, a esquisto y, al final, a gneis. Las areniscas se transforman en cuarcitas y los sedimentos carbonatados en mármoles calcíticos o dolomíticos. Las rocas volcánicas básicas, esto es, pobres en sílice y ricas en hierro y magnesio, se transforman primero en esquistos verdes y seguidamente en anfibolitas. Las eclogitas son rocas metamórficas básicas que se han formado a altas presiones, a profundidades a menudo superiores a los 30 kilómetros.



Las rocas metamórficas se clasifican según la proporción de los minerales que las componen. En ciertos casos interviene también el aspecto estructural. El gráfico superior izquierdo es válido para las rocas que han experimentado metamorfismo en zonas poco profundas de la corteza terrestre, en condiciones correspondientes a un grado bajo de presión (entre las dos y las ocho mil atmósferas de presión y de 300 a 500 °C de temperatura). El gráfico superior derecho es válido para las rocas de grado medio (presión de 3.000 a 9.000 atmósferas y temperatura comprendida entre 500 y 650 °C). Las letras Q, C, F y M situadas en los vértices, indican, respectivamente, la abundancia de cuarzo, carbonatos, feldespatos y mica, que suelen ser los componentes más abundantes en las rocas metamórficas. La proporción de estos minerales es máxima en el vértice correspondiente y nula en el extremo opuesto. Asimismo, su naturaleza es variable con la intensidad del metamorfismo. Así, el extremo F representa albita o microclina en el primer gráfico, y plagioclasa más cálcica (oligoclasa-andesina), microclina u ortosa en el segundo. El término F corresponde mayoritariamente a clorita y sericita al comienzo del metamorfismo, que evolucionan a biotita y moscovita al aumentar éste. Asimismo, en los grados medio y alto de metamorfismo y en rocas ricas en calcio pueden formarse abundantes silicatos cálcicos (grossularita y diópsido), que no tienen representación específica en el diagrama. Por otro lado, algunos minerales muy valiosos como indicadores de las condiciones de formación de las rocas, tales como estamolita, cloritoide o granate, tampoco figuran. Su presencia se indica añadiendo su nombre al de la roca, por ejemplo, micaesquisto granatífero. Esta clasificación es válida únicamente para las rocas metamórficas más corrientes.







La fotografía de la derecha muestra una cantera de mármol de Carrara. Debajo puede verse la sección microscópica de esta roca, que procede del metamorfismo de sedimentos carbonáticos: calizas o dolomitas.
A su derecha y debajo, respectivamente, una eclogita y una sección microscópica de la misma. Se trata de una roca ferromagnesiana, procedente del metamorfismo, en condiciones extremas de presión, de rocas ígneas básicas o intermedias, como, por ejemplo, el basalto y la andesita o sus equivalentes plutónicos.

Las condiciones del metamorfismo se expresan mediante los llamados *grados metamórficos*, cuyos límites se basan principalmente en la temperatura: grado muy bajo (entre 500 y 650 °C) y alto (más de 650-700 °C).

Regímenes metamórficos La variación de la temperatura con la profundidad (equivalente a la presión de carga) se denomina *gradiente geotérmico*. Este es muy variable de un punto a otro del planeta y, como resultado, los metamorfismos asociados son diferentes. Se habla entonces de distintos *regímenes metamórficos*.

En las zonas de subducción, donde la corteza oceánica se introduce bajo el borde continental (caso de los Andes) o de un sistema de arcos-isla volcánico (caso de Japón o Filipinas), los materiales son transportados a grandes profundidades a velocidades geológicamente rápidas (de 2 a 6 cm por año). Estos materiales son sedimentos abisales y rocas volcánicas submarinas, mezclados caóticamente en el plano de falla. Como consecuencia, el calentamiento de estas rocas es lento y el régimen metamórfico está dominado por la presión de carga en rápido aumento. Son los metamorfismos de *alta presión y baja temperatura*. Las rocas características son los *esquistos azules*, llamados así por contener un anfíbol sódico, la glaucofana, que les imprime un color azulado característico. También se forman eclogitas, constituidas por granate y un piroxeno de alta presión: la jadeíta.

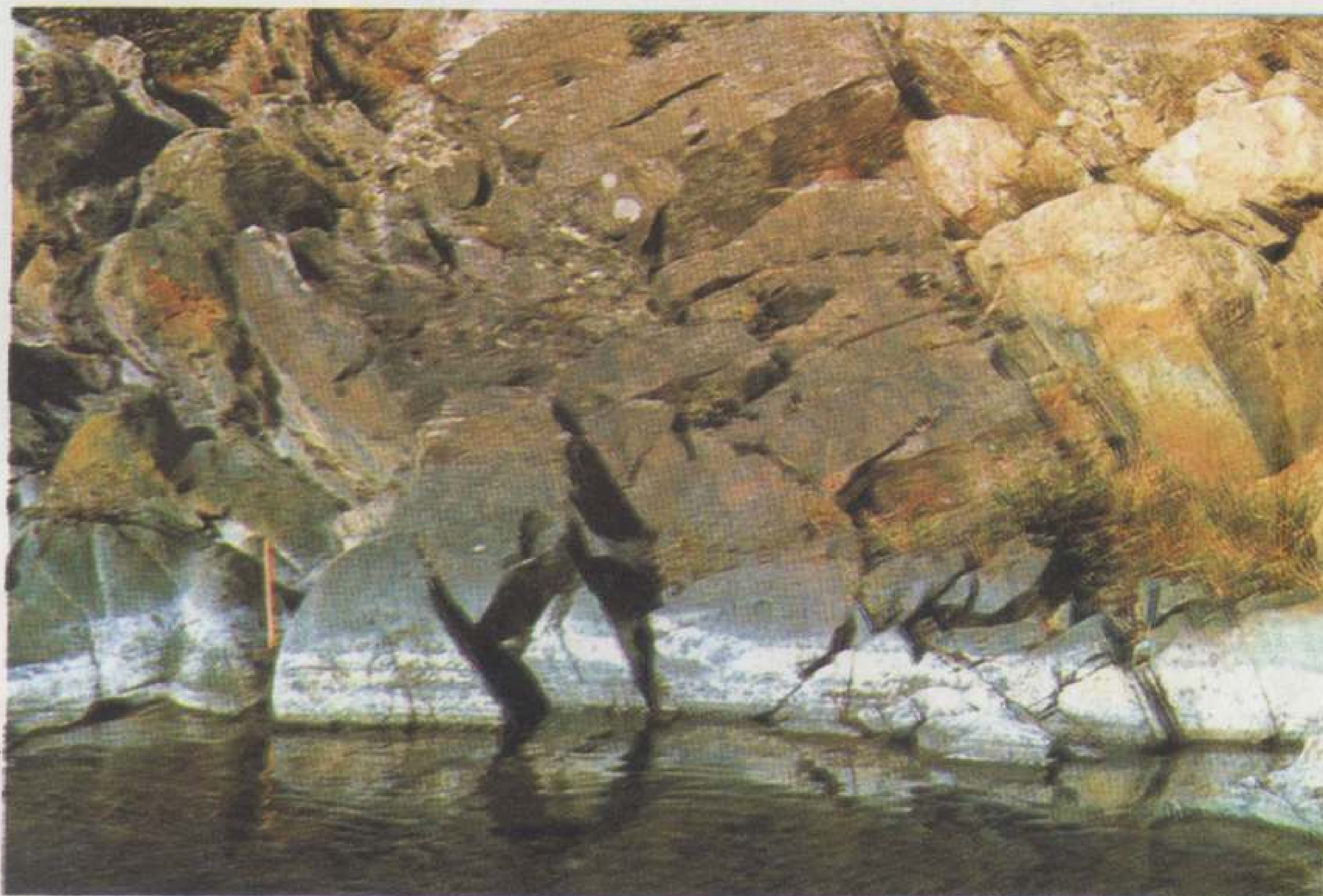
En el extremo opuesto están los regímenes metamórficos de *baja presión y alta temperatura*. Corresponden al *metamorfismo de contacto*, que tiene lugar por el calentamiento producido por una masa de magma que cristaliza en profundidad. En torno al plutón se desarrolla una zonación característica: en la parte más alejada se forman las *pizarras* mosqueadas, caracterizadas por poseer abundantes nódulos de minerales neoformados (andalucita, cordienta), que parecen "moscas" sobre las superficies pizarrosas. Junto al contacto, las altas temperaturas provocan la recristalización total de la roca con la pérdida de su estructura primitiva. Las rocas resultantes, oscuras, masivas y muy duras, se llaman *corneanas*. La sillimanita es un mineral característico.

Los regímenes metamórficos intermedios entre los anteriores corresponden a otros ámbitos geodinámicos, como zonas de colisión continente-continente y otros.

Véase **Rocas magmáticas; Rocas sedimentarias**







El producto del metamorfismo de rocas ferromagnesianas ultrabásicas es la serpentinita (sobre estas líneas). Su sección microscópica aparece justo encima, a la izquierda.
A la derecha, rodingita, una roca metasomática. Debajo, textura nodulosa o mosqueada de una roca que ha experimentado una recristalización debida a elevadas temperaturas y baja presión (metamorfismo de contacto).





Rocas sedimentarias

Las rocas que forman la litosfera se encuentran sometidas a la acción de muchos agentes externos (lluvia, hielo, viento, ríos, etc.), que ejercen una acción destructora sobre ellas. Ahora bien, la capacidad erosiva de esos agentes es mayor si las rocas se encuentran situadas en zonas altas o montañosas.

El conjunto de las acciones mecánicas ejercidas sobre las rocas transforma los materiales que las componen en fragmentos de tamaño variable, que van decreciendo a medida que prosigue la acción destructora. Los productos finales de la erosión pueden ser cantos, arenas, arcillas, limos, etc., que, cuando dejan de estar en suspensión en los medios de transporte (agua, aire, hielo), se depositan por la acción de la gravedad, formando los sedimentos. Un río, por ejemplo, arrastra gravas, arenas, arcillas y productos en disolución. Los fragmentos de gran tamaño se depositan en la parte alta del curso del río; en la parte baja del valle lo hacen las arenas, y en las zonas donde la velocidad de la corriente es más reducida, como la desembocadura del río, se sedimentan las arcillas y los limos.

El proceso de sedimentación en estratos horizontales suele producirse a lo largo de miles de años. Los materiales sedimentarios depositados forman un agregado en el que quedan muchos espacios vacíos, ocupados generalmente por agua. Como consecuencia de la presión ejercida por nuevos sedimentos, se expulsa el agua contenida en los poros, es decir, los sedimentos experimentan una compactación, transformándose así en una roca sedimentaria.

La mayoría de las rocas sedimentarias se ha formado en el fondo de cuencas oceánicas o de mares intracontinentales. También son importantes los depósitos formados en ambientes fluviales o lacustres. Otros tipos de rocas sedimentarias se han originado en un ambiente glacial, como consecuencia de la deposición de los materiales arrastrados por el hielo. También el transporte eólico, típico de ambientes desérticos, forma importantes depósitos de arena. Los fragmentos de roca que son producto de la erosión se denominan *clastos* (palabra que en griego significa "fragmento").

Existen también rocas sedimentarias no clásticas, formadas por precipitación química de diversas sales. La sal gema, por ejemplo, se ha formado por evaporación de agua cargada de sales disueltas en cuencas de varios tipos, como mares interiores, lo que ha dado lugar a la deposición de grandes espesores de sales. Existen muchos tipos de rocas originadas por precipitación química. Muchos depósitos de hierro, por ejemplo, se han formado por distintos procesos químicos acaecidos en aguas continentales.

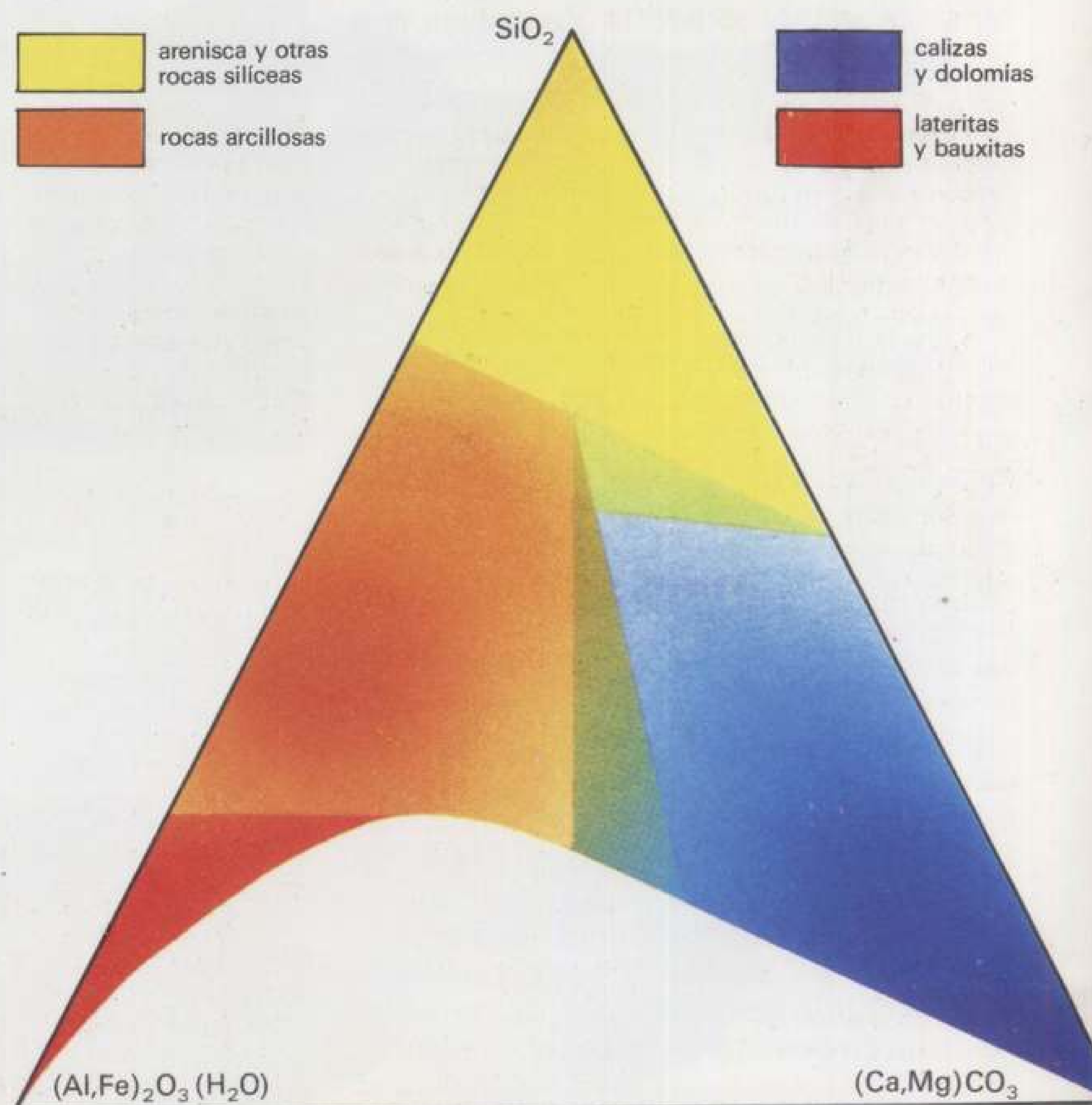
Tampoco son clásticas las rocas orgánicas, en cuya formación han intervenido de algún modo los seres vivos. Rocas orgánicas de considerable importancia económica son los carbones y las turbas, resultado de las transformaciones experimentadas por restos vegetales. El petróleo se ha originado a partir de restos vegetales y animales, por medio de una serie de reacciones químicas generadas por bacterias anaerobias.

Velocidad de sedimentación Aunque la velocidad exacta de formación de un depósito sedimentario es casi imposible de conocer, en algunos casos se puede hacer una estimación aproximada. La arenisca, por ejemplo, necesita unos 450 años para alcanzar un espesor de 30 centímetros. Para el mismo espesor, las arcillas necesitan 900 años, y las calizas 2.250 años.

La velocidad de sedimentación puede variar en función de muchos factores. Algunos estudios realizados en los océanos Pacífico y Atlántico dan valores de 10.000 años para la formación de estratos de un milímetro de espesor. En otros casos la velocidad de sedimentación puede ser muy







El análisis de los componentes de una roca es muy útil para explicar su origen. El triángulo de la derecha muestra, a grandes rasgos, la composición de algunas rocas sedimentarias. En la parte superior, en amarillo, las rocas sedimentarias que se componen en su mayor parte de cuarzo. Menos abundantes son las rocas formadas por hidróxidos de diversos elementos, como el aluminio o el hierro. La bauxita, por ejemplo, es una roca compuesta de hidróxido de aluminio. Su origen está en la concentración de aluminio procedente de rocas carbonatadas o con silicatos. En la base, a la derecha, se encontrarían las rocas carbonatadas, cuyo origen es diverso: sedimentación en cuencas marinas, precipitación del CO_3Ca en aguas continentales, etc.

elevada. Por ejemplo, en la presa de Asuán se acumulan cada año grandes espesores de limos arrastrados por el Nilo. Durante las inundaciones del río se necesitan pocos minutos para que extensas áreas queden cubiertas por esos sedimentos limosos.

La estratificación de las rocas sedimentarias En su gran mayoría, las rocas sedimentarias se encuentran estratificadas. El espesor de un estrato es muy variable; puede medir más de un metro o pocos milímetros. El hecho de que las rocas sedimentarias se dispongan en estratos sucesivos permite una datación relativa de éstos, ya que los más antiguos se encuentran generalmente debajo de los más recientes. Según este criterio se puede hacer una sucesión-tipo de la formación de rocas sedimentarias a través de los distintos períodos geológicos, ordenándolas cronológicamente: las rocas más antiguas (datadas en unos 3.500 millones de años de antigüedad y hoy día ya convertidas en rocas metamórficas) estarían al principio de esta sucesión, y las rocas más modernas, que se están formando en la actualidad, se situarían al final de la sucesión.

Fósiles y rocas sedimentarias Todos los fósiles se encuentran asociados a rocas sedimentarias, ya que los restos de animales y vegetales se han conservado en los depósitos de sedimentos. De este modo, han llegado hasta nuestros días, lo cual ha hecho posible estudiar las numerosas formas de vida que habitaron la Tierra hace millones de años.

Las rocas sedimentarias más comunes Gran cantidad de rocas de la litosfera son de origen sedimentario, destacando las calizas y las areniscas.

Las *calizas* proceden de sedimentos que se depositaron en cuencas oceánicas, y que han emergido debido a procesos orogénicos. En consecuencia, es frecuente encontrar en ellas fósiles marinos de distintas eras geológicas. Estas rocas pueden presentar diferentes coloraciones, aunque el blanco y el gris son los colores más frecuentes.

Se trata de rocas muy abundantes, que constituyen un porcentaje considerable de todos los sedimentos que se encuentran en la superficie terrestre. Las calizas se clasifican según su origen. Por una parte están las calizas autóctonas, formadas por precipitación del carbonato cálcico. Un ejemplo de calizas formadas por precipitación química en un ambiente continental son las estalactitas y estalagmitas que caracterizan muchas grutas. También hay calizas de origen orgánico, que se formaron por la acumulación de caparazones









Una característica general de las rocas sedimentarias es la estratificación, que se produce cuando los materiales se depositan en el fondo de un lago, de un río o del mar, formando estratos que van superponiéndose unos a otros, siguiendo un orden cronológico, como se ve en la foto izquierda de la página anterior. La naturaleza de los estratos varía en función del ambiente en que se formaron. Dentro de una misma serie estratigráfica pueden encontrarse estratos que difieren en su color, granulometría, composición química, etcétera. En la fotografía de la derecha de la página anterior puede apreciarse la diferencia en el tamaño de grano entre dos estratos contiguos. La separación entre dos estratos puede ser brusca, como se aprecia en la parte superior de la fotografía, o gradual, como se ve en la parte inferior: en la base hay granos gruesos que van disminuyendo progresivamente de tamaño hacia la parte superior. Este caso nos permite observar cómo las condiciones de sedimentación cambian, en cada estrato, según sean las características de la corriente de agua. Cuando la fuerza de la corriente cesa, se van depositando gradualmente materiales más finos. Sobre estas líneas se aprecia otra característica que puede aparecer en rocas sedimentarias depositadas por corrientes fluviales o marinas: la laminación, que consiste en la superposición de capas muy finas, que pueden depositarse horizontales, onduladas, inclinadas, etc., dependiendo de la velocidad y dirección de la corriente que las depositó. El estudio de la laminación permite deducir esos parámetros referidos a la corriente que la formó. En la foto superior derecha, se ve una secuencia muy característica de un medio fluvial: una serie de estratos de material fino son cortados por un canal fluvial, de manera que éste se encaja en los materiales arcillosos más finos. En la fotografía situada en el medio se aprecia la base de un estrato, que no es plana, sino que muestra irregularidades producidas por la erosión de surcos en el estrato inferior y su relleno con ulteriores sedimentos. Las formas visibles son el molde de estas formas de erosión. La roca de la fotografía inferior es de origen químico y se debe a la precipitación de un carbonato a partir de una disolución.



cas de avenida de un río. Los cantos de los conglomerados están unidos por cemento calcáreo, arcilloso, arenoso, etc.

El tipo de roca orgánica más conocido es el *carbón mineral*, que se ha originado por transformación de restos vegetales, mediante la acción de bacterias anaerobias, es decir, en un ambiente carente de oxígeno, como el fondo de los pantanos.



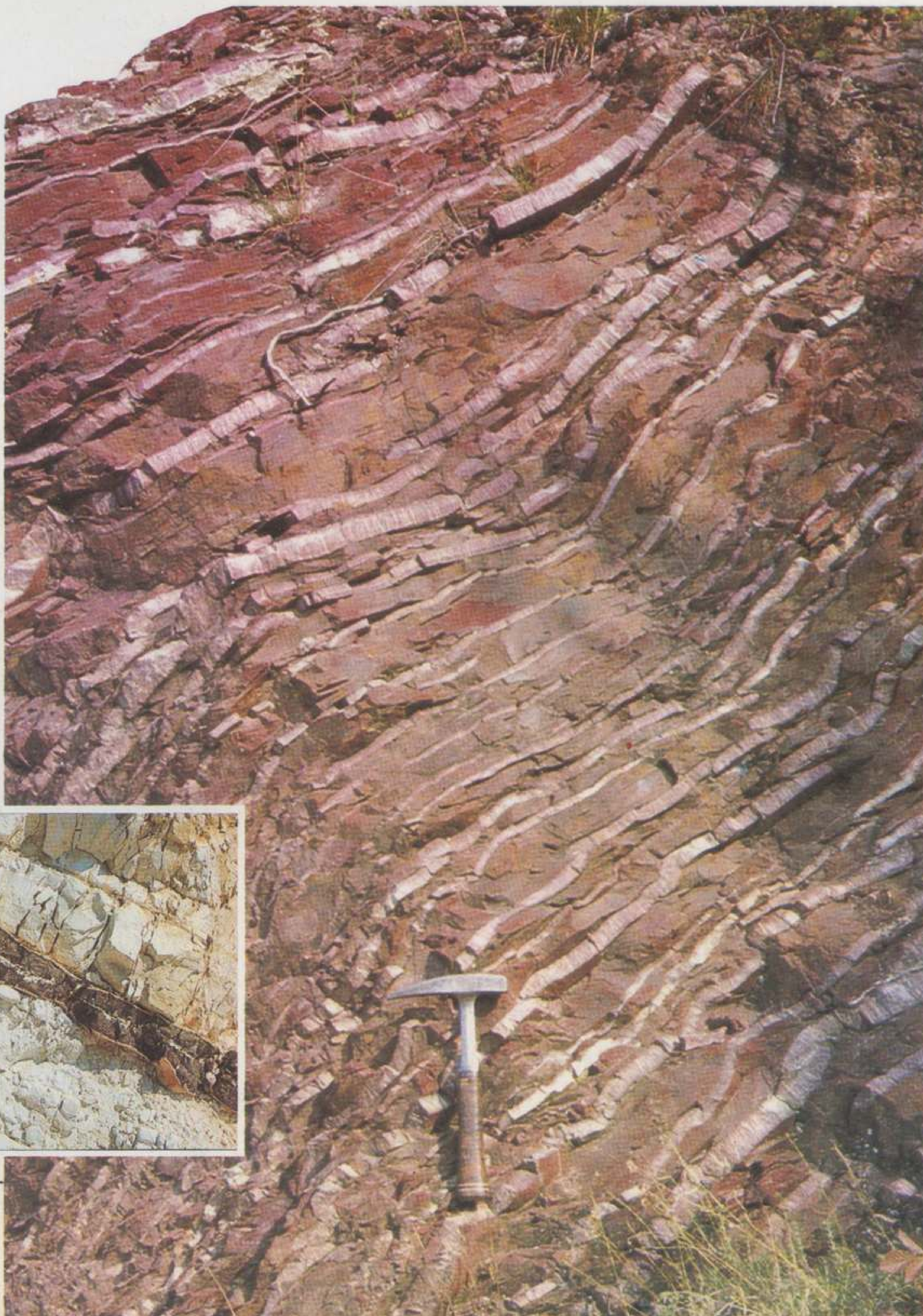
Las dos fotografías muestran niveles de conglomerados intercalados entre sedimentos detríticos más finos. Los conglomerados están formados por fragmentos de roca de tamaño relativamente grande. Los cantos están unidos entre sí por un cemento calcáreo, silíceo o arcilloso más o menos trabado.

y esqueletos de diversos organismos marinos, que si son de tamaño microscópico pueden dar lugar a las llamadas calizas pelágicas, como la creta, que está formada en su mayor parte por caparazones de foraminíferos y ciertos flagelados. Las lumaquelas, o calizas conchíferas, se han formado por acumulación de conchas y caparazones, sobre todo de moluscos y braquiópodos.

Hay muchos más tipos de rocas carbonatadas, que difieren en el tamaño del grano, textura, color y, sobre todo, en su origen y en la evolución química que han seguido a lo largo de su historia como rocas sedimentarias.

La *arenisca* es otra roca sedimentaria bastante común. Se compone principalmente de pequeños granos de cuarzo y tiene una superficie rugosa. El color más frecuente de esta roca suele ser marrón claro o rojizo.

Los *conglomerados* son rocas sedimentarias compuestas por fragmentos de forma generalmente redondeada, y con tamaño de grano variable, pero superior a 2 mm de diámetro. Los conglomerados se han formado en condiciones de erosión intensa y de transporte rápido de los fragmentos que han resultado de la erosión. Esto es posible, por ejemplo, en las épo-





A la derecha, una secuencia rítmica: está formada por estratos de espesor variable, ligeramente plegados, en los que a veces se intercalan nódulos de sílice. El tamaño de grano es muy pequeño. El material predominante es el cuarzo, y también hay inclusiones de hematites y pirolusita. El recuadro de la derecha muestra un nódulo de sílex en caliza.





Junto a estas líneas, superficie del Gran Lago Salado de Utah, EE UU. La evaporación ha originado la formación de una costra de sal en la superficie. A su izquierda, un fragmento de una evaporita, llamada así porque el proceso de formación de estas rocas tiene lugar al evaporarse el agua de la cuenca que la contenía. Las estructuras salinas son muy solubles, y si están en superficie son erosionadas por el agua de lluvia, dando lugar a cavidades y formas características. Las evaporitas más comunes son la sal gema y el yeso.





A la izquierda, formaciones de dolomía, roca carbonatada con parte de los átomos de calcio sustituidos por átomos de magnesio. Su aspecto externo es muy similar al de las calizas, debido al tamaño de grano, textura y color. A veces presentan grandes surcos originados por la erosión del agua. La foto inferior muestra la sección de una diatomita, roca sedimentaria que se compone esencialmente de caparazones de diatomeas (algas unicelulares), mezclados a veces con restos esqueléticos de otros organismos microscópicos.

Importancia económica de las rocas sedimentarias Muchos tipos de minerales, metales y combustibles se encuentran asociados a las rocas sedimentarias.

Los combustibles minerales, como el carbón o el petróleo, tienen gran importancia económica. El carbón aparece interestratificado entre otras rocas, como areniscas o pizarras. El potencial calorífico de los carbones naturales depende de su riqueza en carbono. La turba es una masa esponjosa, formada por restos vegetales y enriquecida en carbono, con un poder calorífico menor que el del carbón mineral; puede tener ciertas aplicaciones industriales y se emplea como fertilizante.

El petróleo se encuentra impregnando ciertas rocas sedimentarias de gran porosidad. Es una mezcla de hidrocarburos para cuya formación es necesaria la existencia de ciertos factores biológicos, físico-químicos y geológicos. Algunos hidrocarburos gaseosos de gran importancia económica se encuentran asociados a los yacimientos de petróleo, como el metano el acetileno y el butano.

Aparte de los combustibles naturales hay otras rocas sedimentarias de interés, como los yacimientos salinos y ferruginosos. Otras rocas, como ciertas calizas y areniscas, son utilizadas como materiales de construcción.

Véase **Carbón; Hidrocarburos; Rocas; Rocas magmáticas; Rocas metamórficas**

Bajo estas líneas, cuatro muestras de calizas fosilíferas. Las dos primeras son calizas recifales en las que se reconocen estructuras de origen orgánico. En la tercera aparecen restos de un pez fósil, y en la cuarta pueden verse, en la fotografía al microscopio, caparazones de foraminíferos.



Rotativa

Las máquinas tipográficas de impresión pueden basarse en los principios de plancha, cilindro de platina o rotativa. Todas las imprentas de huecograbado y litografía utilizan el principio de la rotativa, que permite imprimir a mayor velocidad. El grafismo del sistema de huecograbado se realiza mediante una técnica de impresión que se puede considerar como una derivación del grabado renacentista manual sobre una plancha de metal (*aguafuerte*).

El proceso actual llamado *huecograbado* utiliza una matriz impresora cilíndrica de cobre, algunas veces sólo cromada, cuyos grafismos, de origen fotográfico, se graban química o mecánicamente mediante un complejo sistema electrónico.

El huecograbado es el procedimiento idóneo para las máquinas rotativas de alta velocidad, utilizadas fundamentalmente en la impresión de revistas y periódicos.

Preparación de la matriz Según sea la celdilla o hueco que constituye el grafismo, el huecograbado se subdivide en tres sistemas diferentes: tradicional, autotípico y semiautotípico.

El *sistema tradicional* tiene la celdilla con área constante y espesor variable; la imagen y el texto se obtienen mediante un sistema fotográfico, y las incisiones en el cilindro se realizan químicamente.

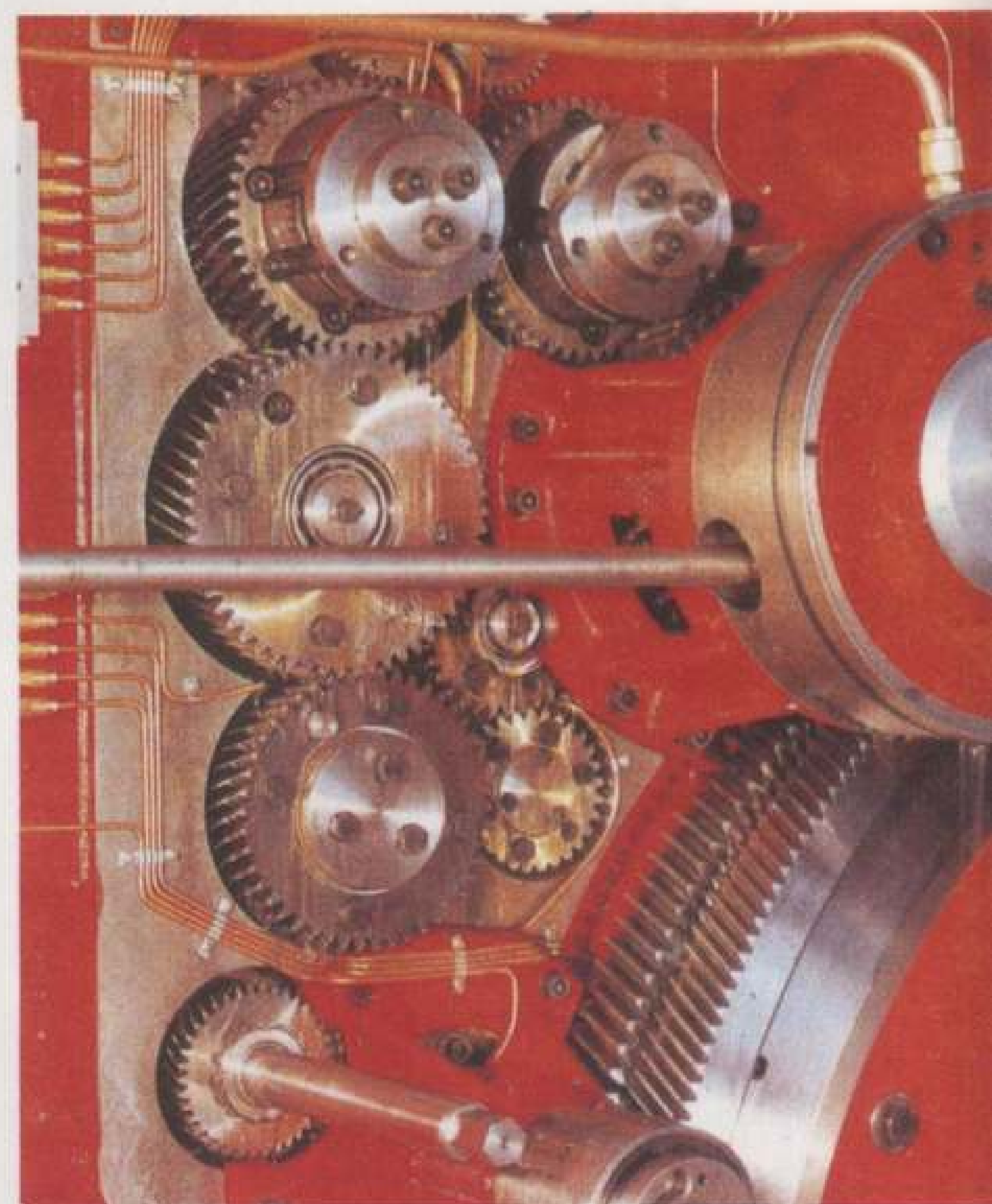
En este sistema la imagen está constituida por un positivo fotográfico transparente cuya modulación de claroscuro está compuesta por una notable gama de tonos grises. Para transportarla al cilindro se utiliza un papel sensible especial (papel pigmento) que se expone a los rayos ultravioleta bajo una retícula negra con líneas entrecruzadas transparentes.

Después de esta exposición, que sirve para obtener las paredes de la celdilla, se expone el positivo fotográfico. El papel pigmento, así expuesto, se pega al cilindro a grabar, y se sumerge en un baño químico de grabado, de manera que absorbe la solución donde no ha recibido los efectos de la exposición y proporcionalmente a la misma; por tanto, la celdilla se hace más profunda y, en consecuencia, más accesible a la tinta en las zonas más oscuras de la imagen. El papel pigmento se elimina entonces del cilindro. Si está prevista una tirada notable, el cilindro debe ser cromado electrolíticamente para que resulte más duro y resistente.

El *sistema autotípico* tiene una celdilla de profundidad constante y de área variable. Los grafismos se obtienen mediante un sistema de origen fotográfico. El dibujo está constituido por una imagen positiva transparente cuya modulación claroscura viene dada por puntos negros equidistantes con una superficie variable. Esto quiere decir que donde la imagen es más clara el punto es pequeño y en las zonas más oscuras el punto resulta mayor. El procedimiento para la preparación del cilindro es idéntico al anteriormente descrito, exceptuando la primera exposición a través de la retícula. Esta última ya no es necesaria en el sistema autotípico, pues las paredes de la celdilla ya están determinadas por los espacios entre punto y punto que no deben ser impresos.

El sistema semiautotípico tiene la celdilla con área y profundidad variables; es característico de los métodos electrónicos de grabado con rodillo. En los sistemas electrónicos, la imagen, que puede ser positiva o negativa, dando un tono continuo o con entramado, se enrolla en un rodillo transparente que tiene un movimiento de rotación. Un rayo de luz, con movimiento de traslación, atraviesa la imagen; su intensidad queda modificada por el claroscuro de la imagen y es recibida por un dispositivo que transmite los datos a un procesador. La incisión en el cilindro tiene lugar por medio de una punta de diamante en forma de pirámide que, guiada por el procesador, penetra con más o menos profundidad en el cilindro, según sea la dimensión de la celdilla que debe crear.

La máquina de huecograbado Las máquinas de impresión por huecograbado están alimentadas con bobinas de papel continuo y, generalmente, están provistas de un dispositivo que corta y dobla el papel impreso de forma que a la salida se obtiene el producto acabado. Con este sistema es posible obtener varios millones de copias en un tiempo muy corto (la máquina produce más de 50.000 copias por hora). El dispositivo de impresión está formado por un cilindro medio sumergido en un depósito de tinta muy fluida; a medida que gira el cilindro, una cuchilla de acero elimina por completo la tinta de la superficie, respetando únicamente la tinta recogida en los huecos del cilindro, que así quedarán marcados en el papel. Por cada color impreso en cada cara del papel es necesario un dispositivo de este tipo que es denominado "elemento impresor".



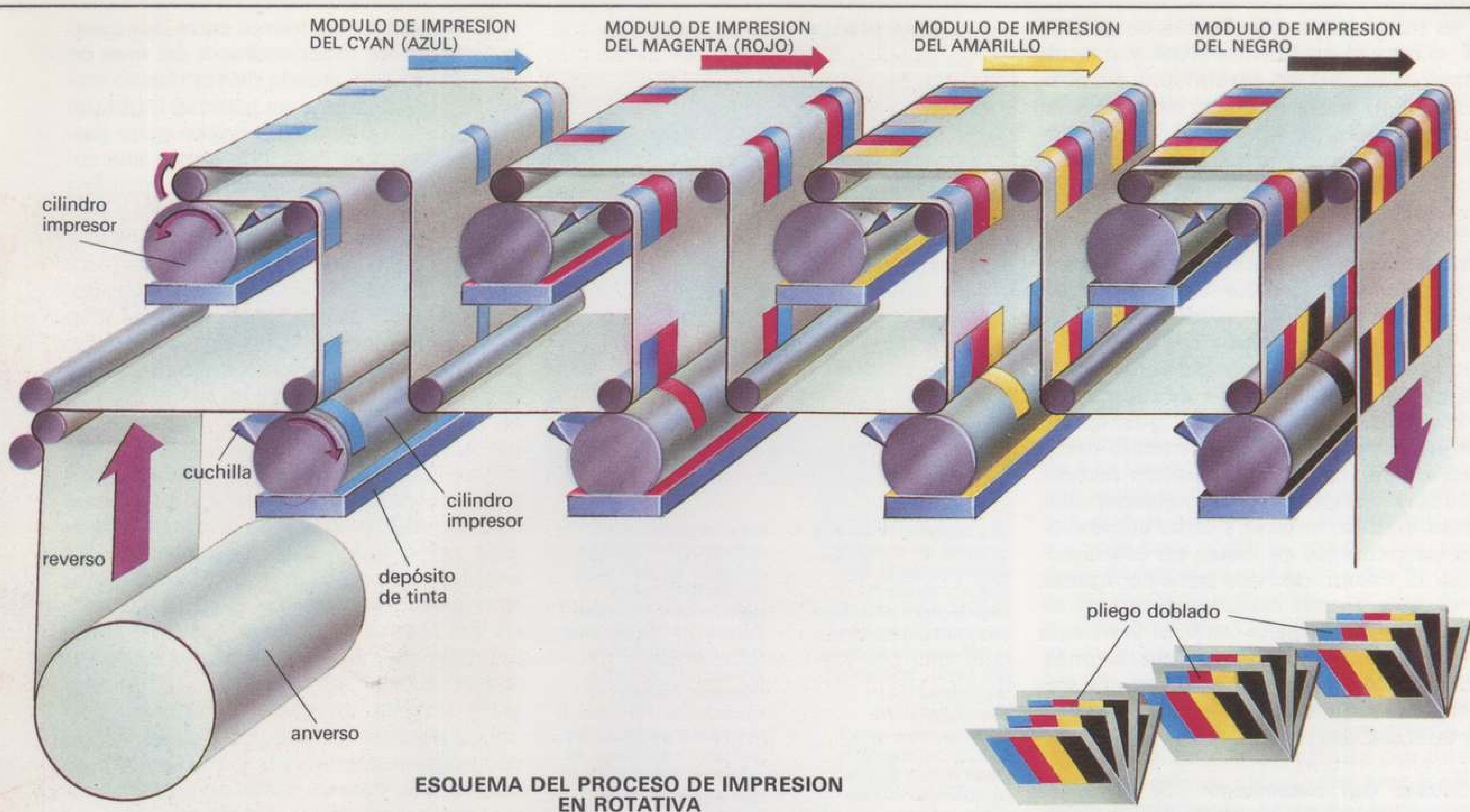
Abajo, detalle de la transmisión del movimiento de los grandes cilindros del grupo que imprime cada color. Se pueden observar los tubos de cobre de lubricación. En el centro, máquina impresora de huecograbado: en primer plano, la salida donde se recogen los pliegos ya doblados.



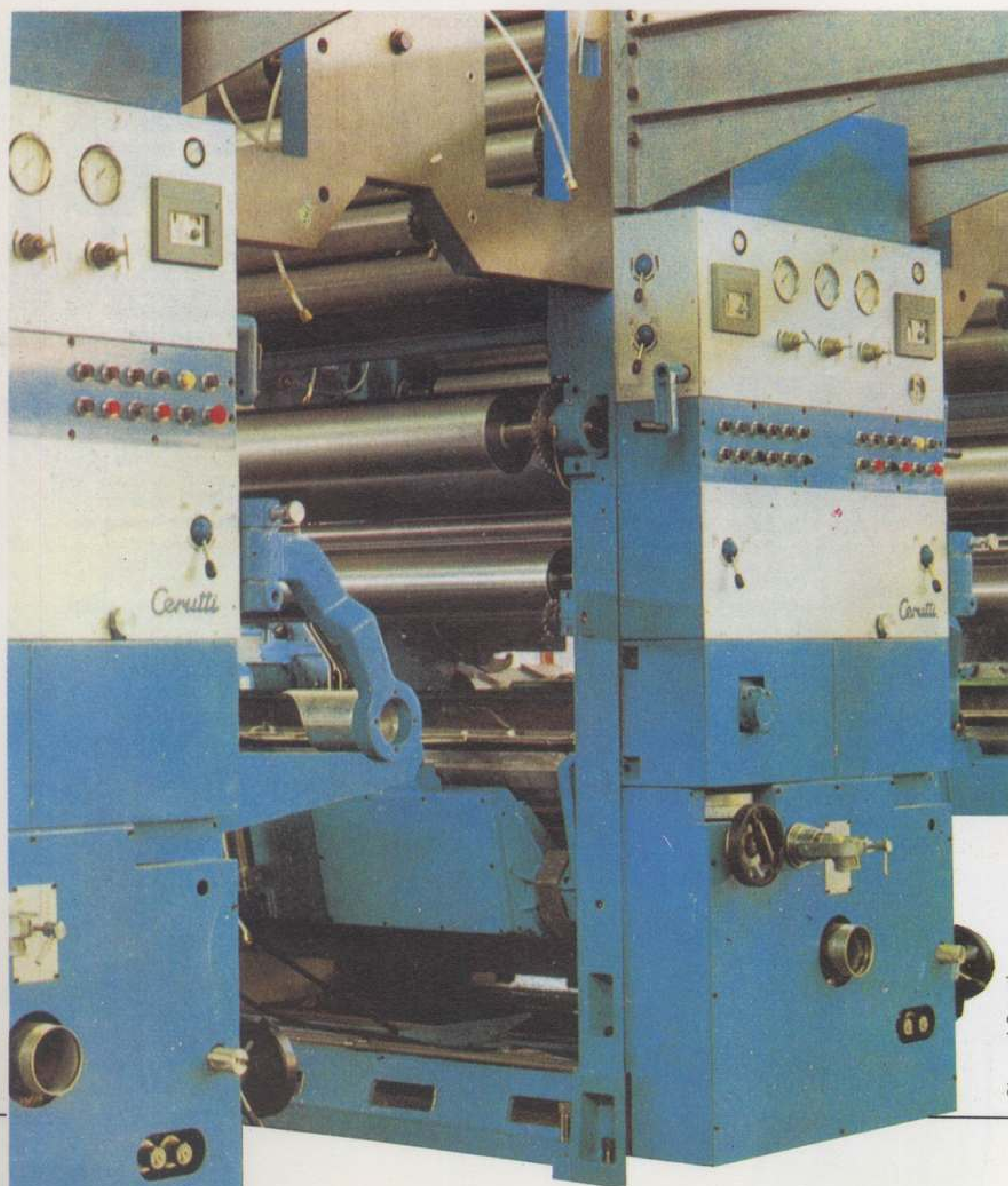
Las rotativas como la de la imagen, además de imprimir revistas, se pueden construir también con módulos adecuados para imprimir materiales de embalaje. Todas las partes mecánicas, los controles, los mandos eléctricos y electrónicos, están proyectados según las exigencias determinadas de cada cliente. Existen, por tanto, rotativas adaptadas a muy diversas gamas de materiales: cartón, aluminio de 9 micras, polietileno de 30 micras y materiales pesados de hasta 700 g/m².

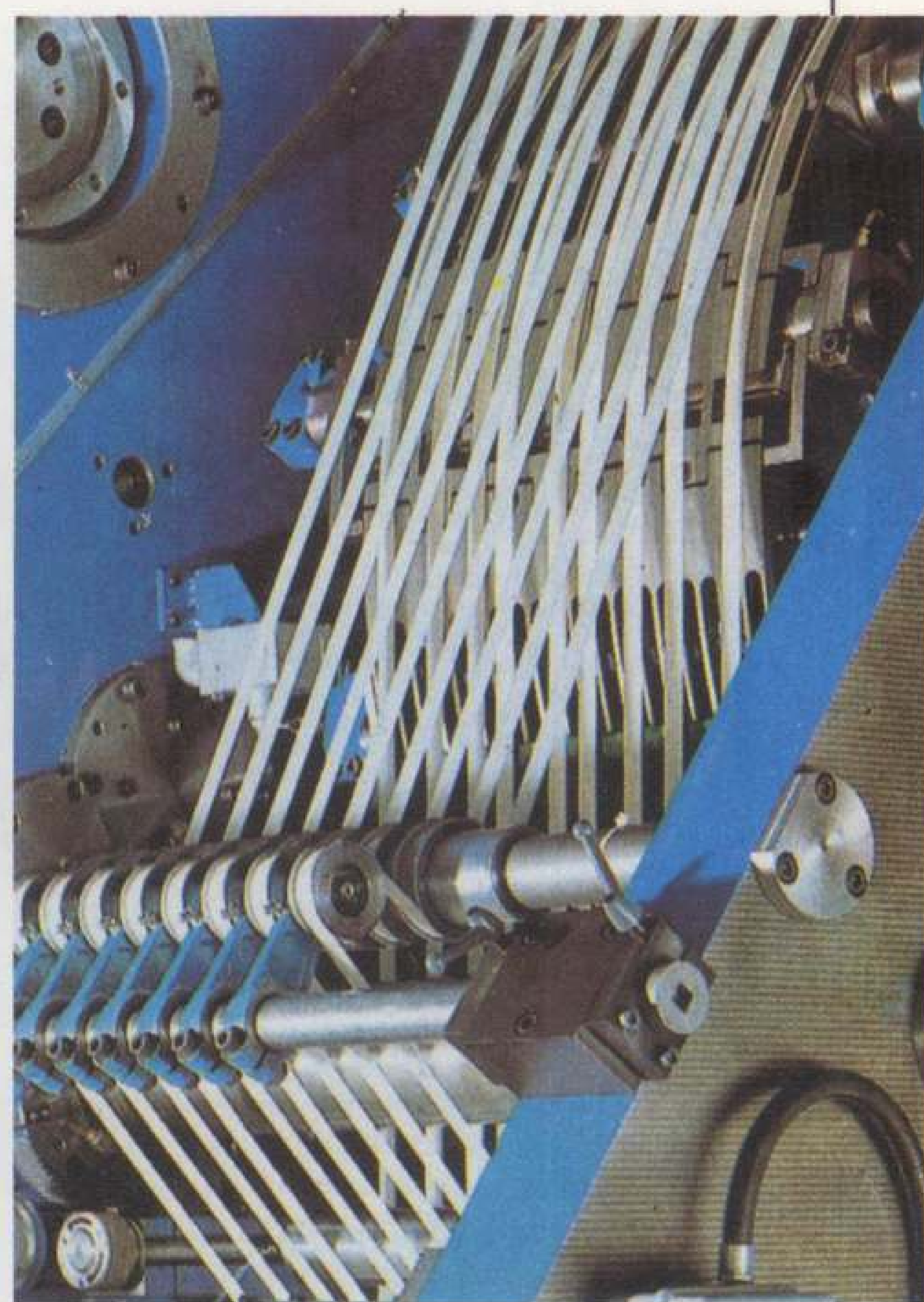
Giovanni Cerutti

Véase **Aguafuerte y grabado; Impresión; Impresión en offset**



ESQUEMA DEL PROCESO DE IMPRESION EN ROTATIVA





Giovanni Cerutti

El fácil acceso y la sencillez en el cambio del cilindro impresor son características esenciales de las rotativas. Al lado se puede observar un elemento de imprenta con un perfil superior sobre el que se mueve el aparejo que se utiliza para transportar al cilindro impresor. En la parte superior, esquema de flujo de la máquina de huecograbado en el caso hipotético de una impresión a 4 colores, de una sola bobina y con impresión por ambas caras del papel. Sobre estas líneas, un transportador.

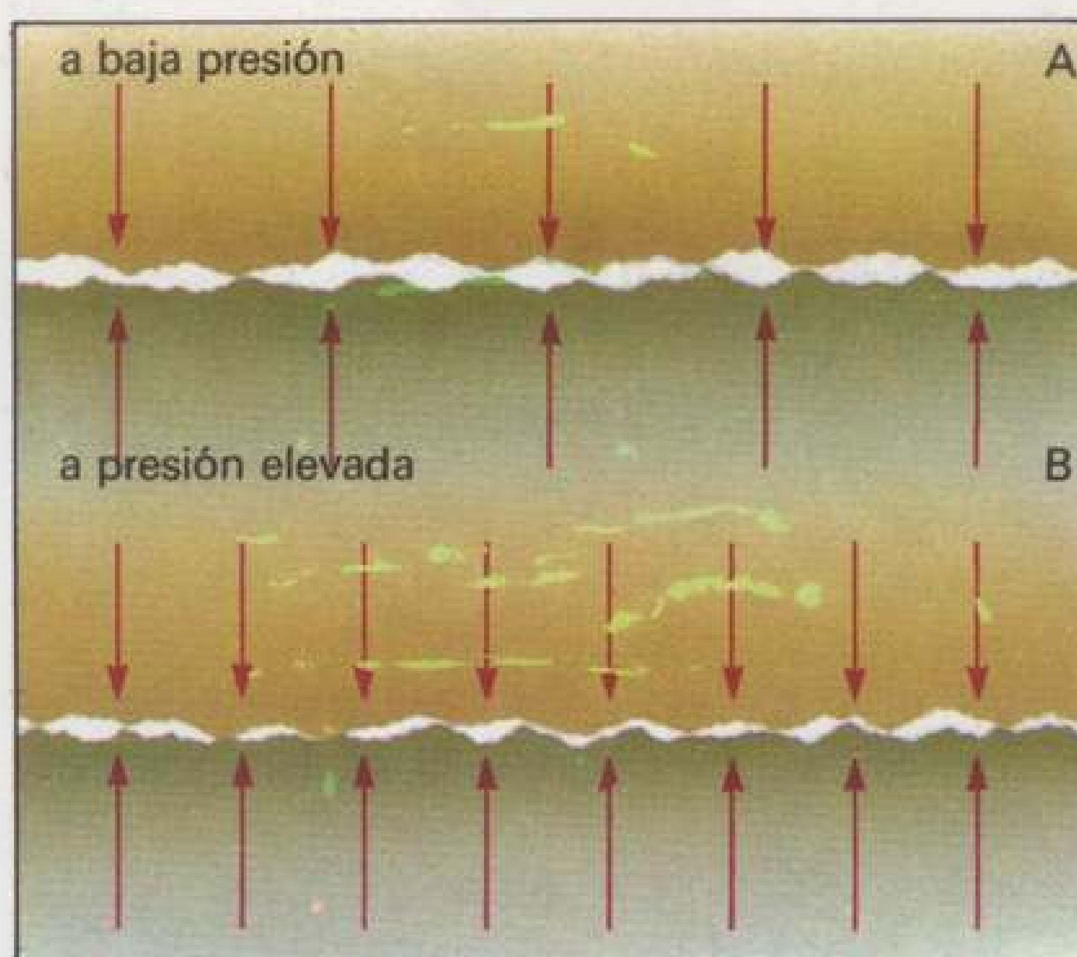
Rozamiento, fuerzas de

Las dos fuerzas más familiares que se observan en la Naturaleza son la de la gravedad y la de rozamiento. Sin embargo, mientras que la gravedad ha sido estudiada durante siglos por los científicos, el rozamiento y las causas que lo producen han recibido, en comparación, mucha menos atención.

El *rozamiento* se puede definir como la resistencia al movimiento que se produce al deslizar una superficie sobre otra. Aunque se le considera a menudo como un inconveniente, responsable del desgate y rotura de las máquinas y del sobrecalentamiento y destrucción de las superficies en contacto, el rozamiento, al igual que la gravedad, representa un elemento constructivo fundamental en nuestro mundo: tuercas y tornillos, clavos, sujetapapeles, pinzas, cerillas, tenazas y otros innumerables instrumentos se basan en este fenómeno. El rozamiento nos permite agarrar los objetos y estar sentados sobre las sillas, y nos proporciona también la música de los violines. En ciertas condiciones, como cuando se conduce sobre una carretera helada, nuestra vida puede depender también del rozamiento.

Causas del rozamiento Si observamos una superficie, por muy lisa que ésta nos parezca, a través de un potente microscopio, comprobaremos que presenta numerosas irregularidades en forma de crestas y valles. De esta manera, cuando dos superficies se presionan la una contra la otra, sólo las crestas más altas entran en contacto. Se comprende, pues, que cuando una superficie soporta el peso de otra, la presión local en esos puntos de contacto puede ser anormalmente alta y producir virtuales soldaduras entre ellos, formando enlaces químicos débiles entre los átomos superficiales (*adhesión superficial*). La adhesión superficial junto con la acción mecánica de las rugosidades de ambas superficies, determinan la resistencia que tenemos que vencer para producir el movimiento.

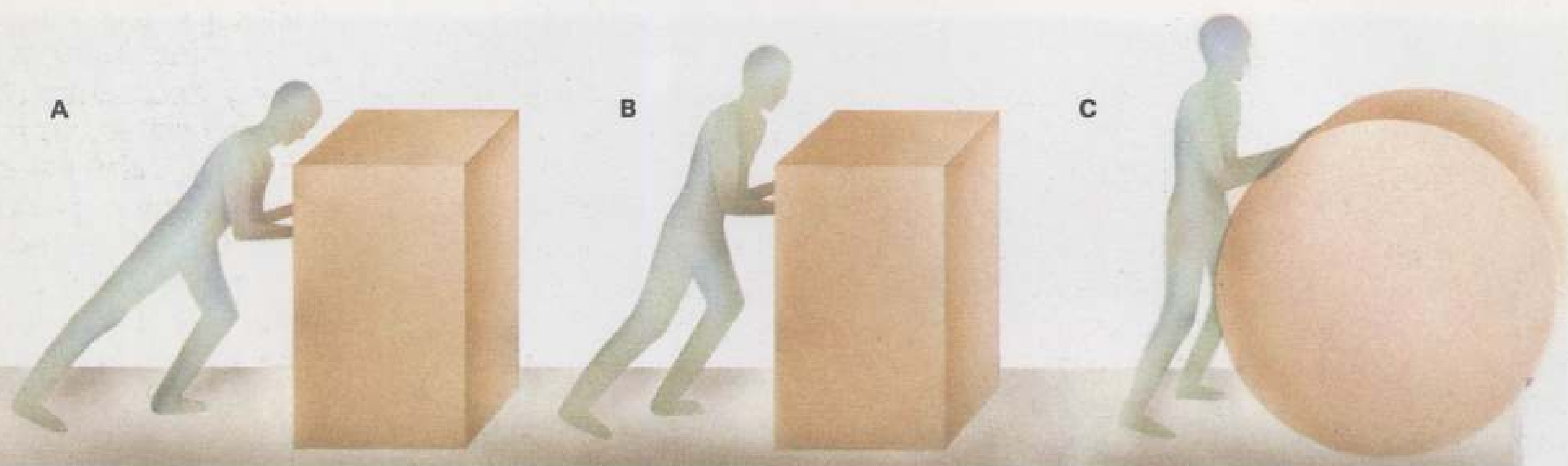
ADHESION MICROSCOPICA ENTRE DOS SUPERFICIES



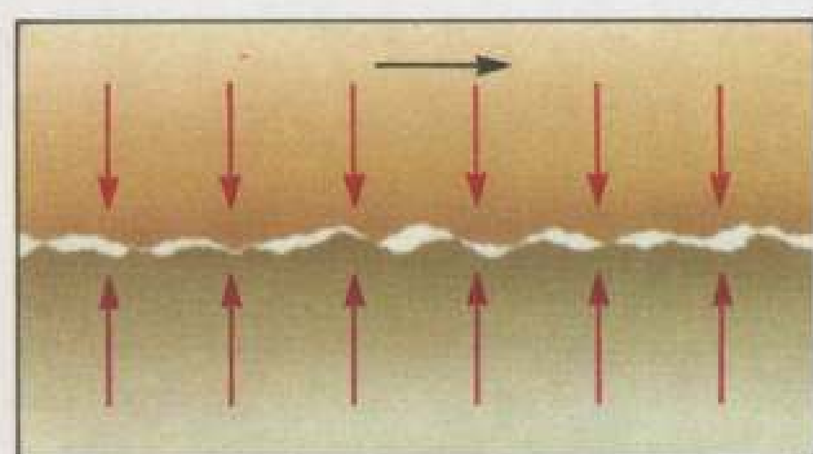
Las superficies de dos cuerpos en contacto, aparentemente lisas, vistas a través de un microscopio presentan asperezas irregulares; la adherencia aparece, por tanto, sólo sobre las crestas más acentuadas (A). Supongamos ahora que aumentamos la presión con la que se adhieren ambos cuerpos; tras producirse una pequeña deformación plástica, entrarán en contacto un número mayor de puntos y con más fuerza (B). Se deduce que, aumentando la presión de contacto, aumenta también el rozamiento. Tan sólo momentáneamente los puntos de contacto se adhieren con tal fuerza que sus átomos se sueldan.

El valor del rozamiento entre dos cuerpos sólidos es independiente del área de contacto mutuo, siendo mayor cuanto mayor sea la carga que un material transmite a otro. Si un automóvil tuviese ocho ruedas, su carga se repartiría sobre una superficie mayor, cada cubierta se aplanaría menos y la porción de goma que en realidad tocaría la calzada sería la misma que la de un automóvil de cuatro ruedas.

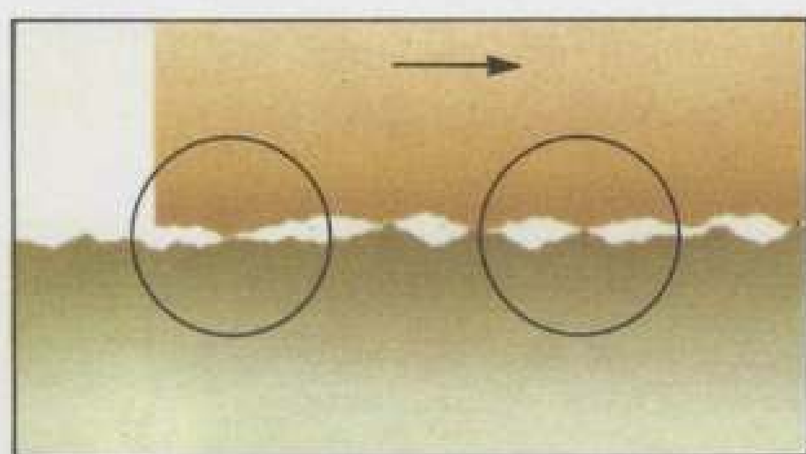
Todo el peso de un cuerpo que se apoya sobre otro está sostenido por el área que efectivamente se halla en contacto, prácticamente del mismo modo que todo el peso de un automóvil es sostenido por menos de un decímetro cuadrado de goma, que es la que, en realidad, entra en contacto con la calzada. La enorme presión que se ejercita sobre los átomos de esta superficie aplanada produce estrechas conexiones o uniones que no sólo impiden pequeños resbalamientos entre las superficies, sino que pueden llegar a ser tan fuertes como para producir la separación de minúsculos trocitos de una o ambas superficies (*desgaste*). Este desgaste implica un gasto de energía que obliga a los átomos de las superficies en contacto a aumentar sus vibraciones, produciéndose de este modo un aumento de la temperatura de las superficies.



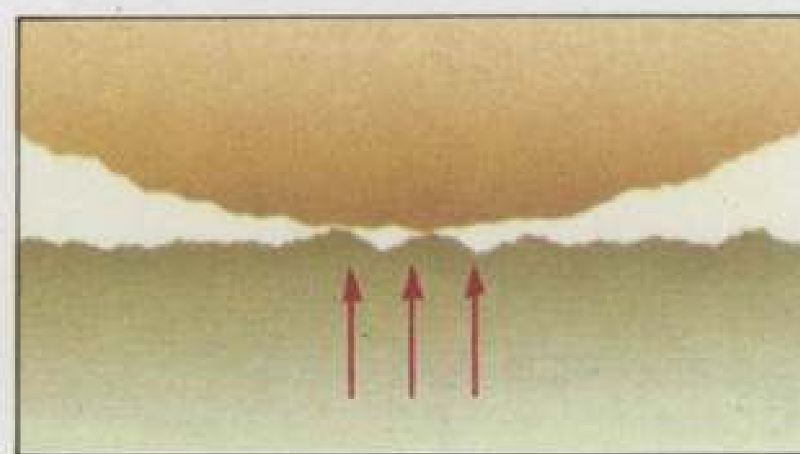
A la izquierda vemos la comparación entre el rozamiento por "deslizamiento" (estático) y el rozamiento por "rodadura" (cinético). En el primer caso, dada la adhesión atómica de los puntos de contacto, resulta trabajoso desplazar el objeto (A). Cuando éste se mueva, sólo las crestas entrarán en juego en el rozamiento (B). En el rozamiento por rodadura (C), las asperezas microscópicas pierden importancia con el movimiento, dado que la rotación, después de aplastarlas, las eleva nuevamente separando y eliminando los puntos de contacto.



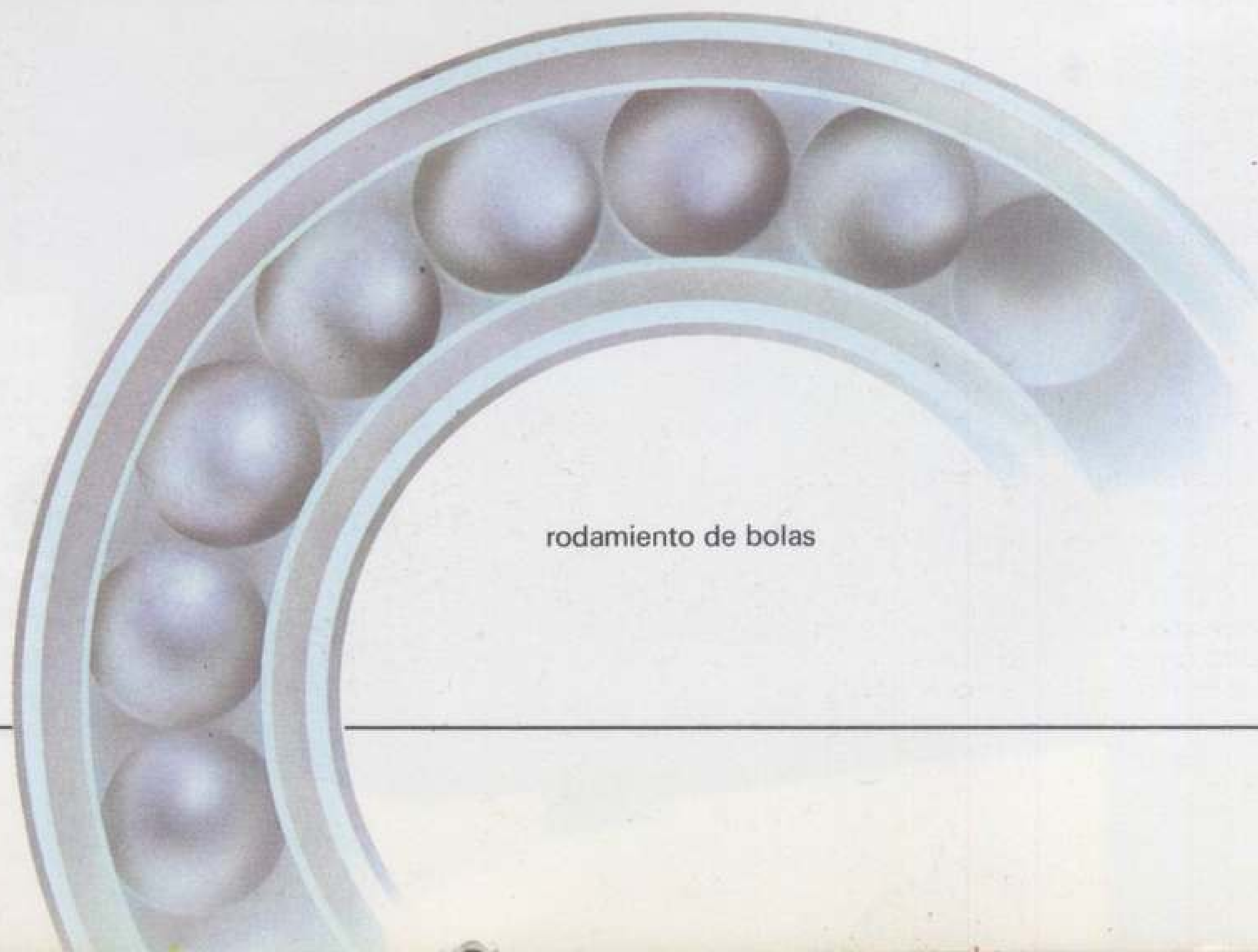
rozamiento estático



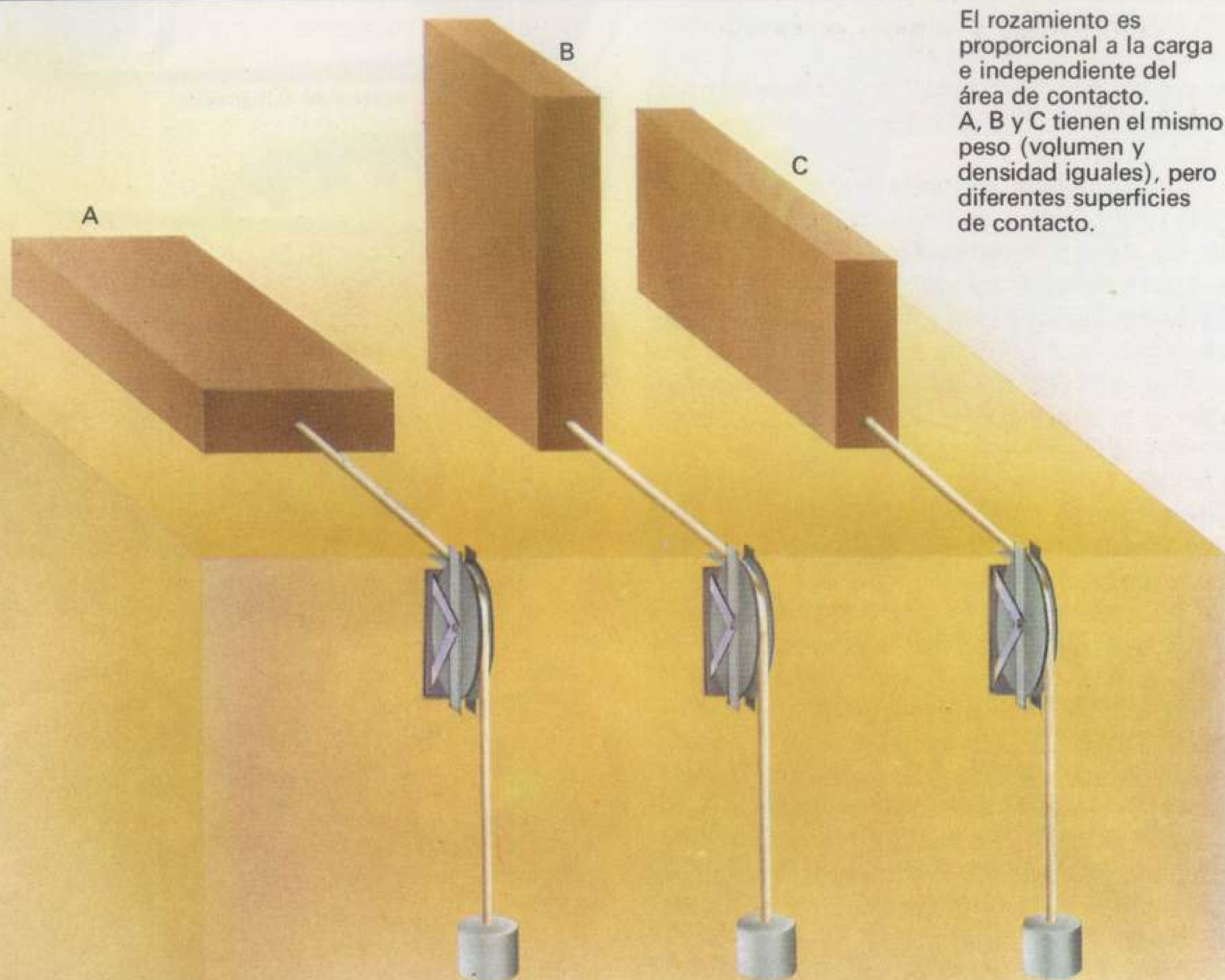
rozamiento dinámico



rozamiento cinético por rodadura



rodamiento de bolas



El rozamiento es proporcional a la carga e independiente del área de contacto. A, B y C tienen el mismo peso (volumen y densidad iguales), pero diferentes superficies de contacto.

la fuerza de rozamiento por deslizamiento depende del peso del cuerpo y no de la superficie de contacto

Una forma de reducir el rozamiento consiste en interponer una fina película de alguna sustancia líquida (lubricante), generalmente aceite, entre las dos superficies, de modo que resulte mínimo su contacto. La lubricación reduce tanto el desgaste como el calentamiento producidos por el rozamiento. Los mecanismos de un automóvil que están casi constantemente en movimiento, como la transmisión y el diferencial, se encuentran sumergidos en aceite. Ni siquiera los mejores lubricantes pueden impedir, sin embargo, que tenga lugar un cierto rozamiento, existiendo siempre, por tanto, un cierto desgaste y calentamiento. Es ésta la razón de que a veces se encuentren minúsculos trocitos de metal en el aceite de motor usado así como de que el motor permanezca caliente durante un cierto tiempo después de haber sido parado.

Leyes del rozamiento Existen tres leyes fundamentales que describen el comportamiento de las fuerzas generadas por el rozamiento.

La primera es que la intensidad de las fuerzas de rozamiento es proporcional a la presión, o carga, ejercida por una superficie sobre la otra. Si empujamos una pila de cuatro ladrillos sobre una mesa, la fuerza de rozamientos es cuatro veces mayor que si sólo empujamos uno.

La segunda ley establece que la intensidad de la fuerza de rozamiento es independiente del área de contacto de las dos superficies. Si empujamos un ladrillo sobre una mesa, haciéndolo deslizar sobre uno de sus laterales, la fuerza de rozamiento será la misma que si lo empujamos estando apoyado sobre cualquiera de sus otras caras, de mayor o menor superficie. Esto no parece lógico, pero se puede justificar si se piensa que, como hemos visto, el área que efectivamente entra en contacto es la misma en ambos casos, ya que las crestas de la superficie se aplanan más si el ladrillo es mantenido de pie.

La tercera ley establece que la fuerza de rozamiento es, en general, independiente de la velocidad con que las superficies resbalan la una con respecto de la otra. Si empujamos un ladrillo a la velocidad de 5 kilómetros por hora, la fuerza de rozamiento es más o menos la misma que si lo empujamos, por ejemplo, a 20 kilómetros por hora.

Estudios recientes han encontrado sólo pequeñas desviaciones de estas leyes. Una importante puntualización que se añade a la tercera ley es que, si un objeto se encuentra en reposo, el rozamiento es mayor que si se halla en movimiento. Por ejemplo, para poner en movimiento un ladrillo se necesita una fuerza mayor que la necesaria para mantenerlo en movimiento. Esto produce el familiar fenómeno llamado "adhesión-deslizamiento", responsable del chirrido de las puertas viejas y del sonido de los violines. Si se roza ligeramente un arco de violín sobre una de sus cuerdas, la cuerda se adhiere por un instante a la crin de caballo del arco y así se tensa ligeramente antes de separarse y volver de nuevo, deslizándose suavemente, a su posición original. Cuando un violinista mueve su arco rápidamente, el movimiento de adhesión y deslizamiento de la cuerda produce las oscilaciones que generan el sonido. El arco debe estar impregnado con resina de pino para que mantenga en la justa medida sus propiedades de adhesión y deslizamiento.

En los últimos diez años se ha dedicado una creciente atención a los problemas del rozamiento. Los científicos esperan, profundizando en el conocimiento de sus causas, poder producir nuevos lubricantes y nuevos materiales capaces de controlarlo mejor, en los casos que sea conveniente.

Véase **Calor; Engranaje; Gravedad y gravitación; Junta universal; Lubricantes; Mecánica**

A la izquierda vemos el tipo más sencillo de cojinete de rodamientos: el radial. Consiste en una corona de bolas introducidas entre dos superficies entre las cuales se quiere eliminar el rozamiento y que permiten sustituir el rozamiento estático por el rozamiento cinético. Entre las ventajas de este cojinete destaca su bajísimo coeficiente de rozamiento (0,001 – 0,002) y la menor necesidad de utilizar lubricantes. A la derecha, dos situaciones opuestas: en una se quiere eliminar el rozamiento; en la otra, aprovecharlo al máximo. En el primer caso (émbolo y cilindro) es oportuno aplicar aceites y grasas lubricantes. De hecho, éstos forman películas superficiales antirrozamiento. Si, por el contrario, se quiere aprovechar el rozamiento, como ocurre en los coches de carreras, se emplean ruedas de amplia superficie de apoyo con el propósito de aumentar la adherencia al suelo.



en un automóvil se trata, a la vez, de minimizar el rozamiento (del motor) y de hacer que la adherencia de los neumáticos sobre el suelo sea máxima

Rueda

Durante los cinco mil años transcurridos desde el momento en que se supone que fue inventada, la rueda ha desempeñado un papel determinante en la historia de la evolución de casi todas las civilizaciones del mundo. El empleo de la rueda supuso una nueva concepción de las distancias, facilitando las comunicaciones entre los pueblos y dando una mayor rapidez al transporte de bienes. Su descubrimiento, además, fue el punto de partida de una auténtica revolución de los medios de producción, ya que permitió la fabricación de innumerables instrumentos y herramientas que facilitaron y aligeraron el trabajo del hombre, desde las ruedas de moler grano hasta, actualmente, las turbinas de los generadores eléctricos.

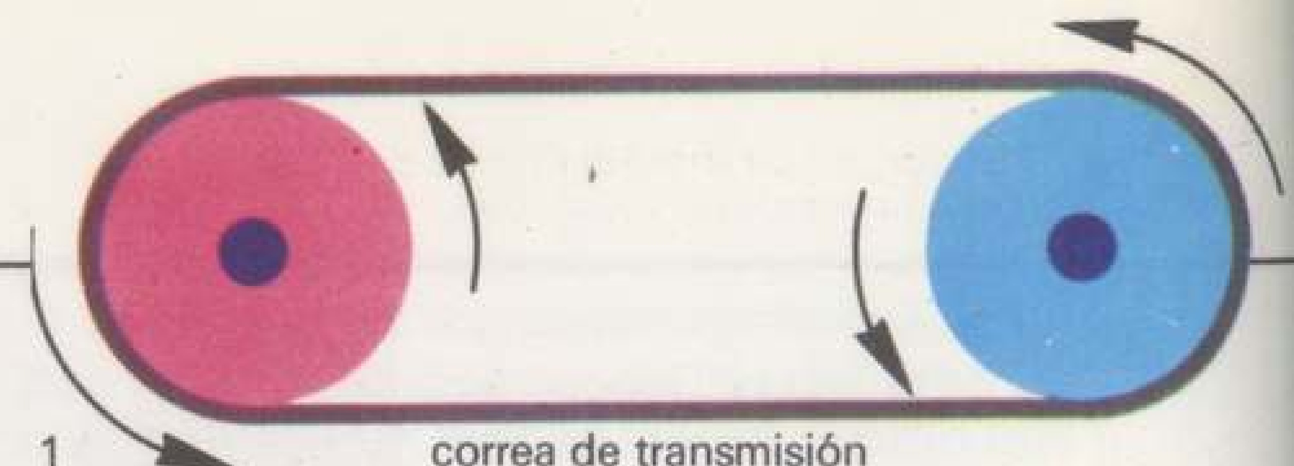
Se supone que los dos primeros objetos a los que se incorporó la rueda como elemento mecánico fueron el torno de alfarería y el carro. Es probable que ambos aparecieran en el cuarto milenio antes de nuestra era. El modelo más sencillo de rueda de alfarero consistía en una pesada piedra circular (o una mesa redonda de madera) en cuya cara inferior se había practicado una cavidad central en la que encajaba el extremo, en forma de punta, de un eje o perno que, a su vez, estaba clavado en el suelo o empotrado sobre una sólida base de piedra (en algunos casos el sistema se invertía, es decir, el perno estaba sólidamente unido a la rueda, de forma que el conjunto girara sobre la base del torno). Posteriormente se incorporaron modificaciones que mejoraron notablemente el método de trabajo; una de ellas consistió en fijar una segunda rueda en la parte inferior del eje, de forma que el alfarero podía hacerla girar con el pie y sus manos quedaban totalmente libres para moldear el barro.

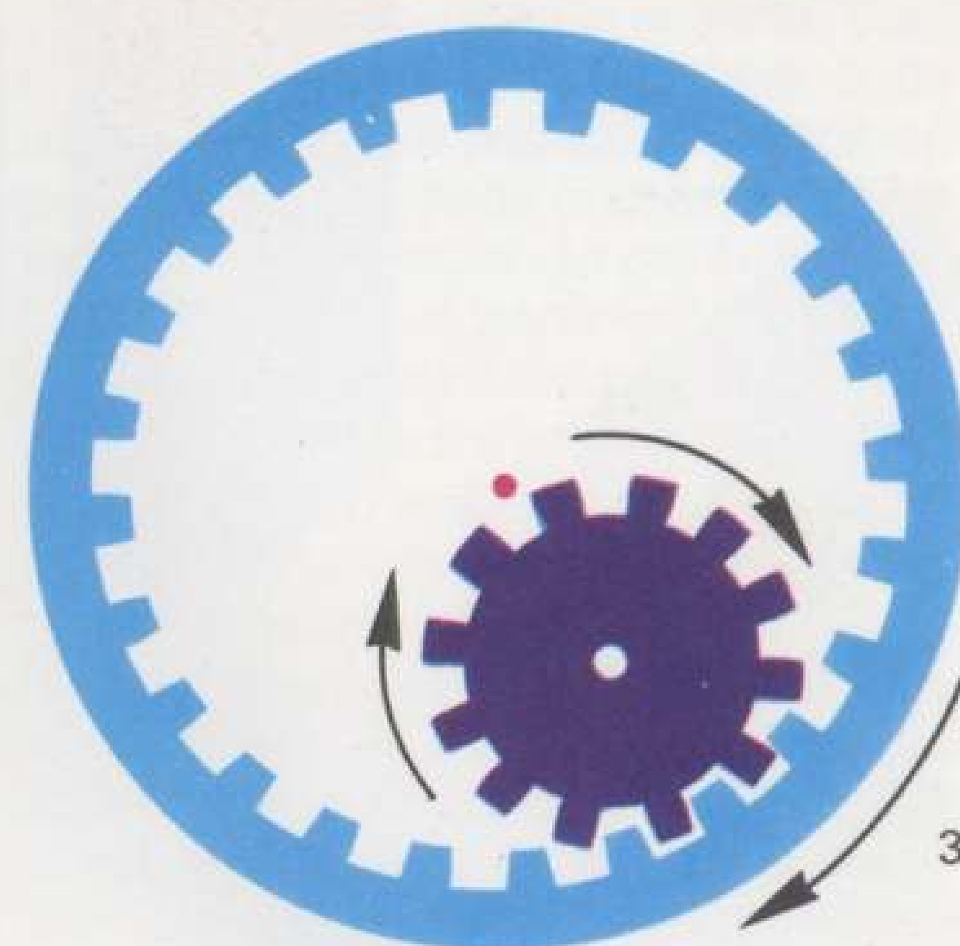
Evolución de la rueda La referencia más antigua que se conserva de una rueda de vehículo data del año 3500 a. de C. y figura en un fragmento de cerámica hallado en Sumeria (Mesopotamia), en el que se reproduce el tosco esbozo de un carro.

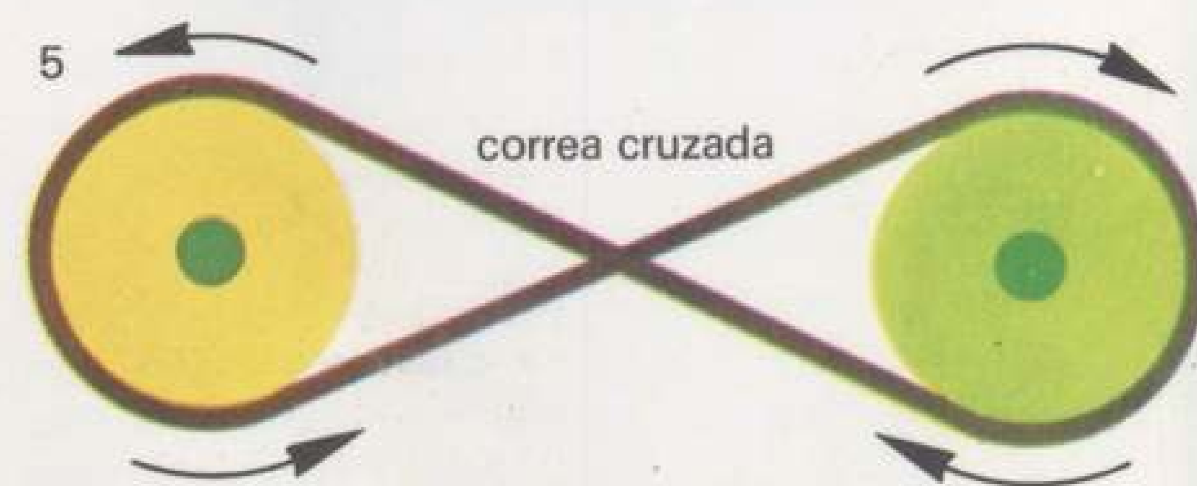
Con el paso de los siglos, el uso de la rueda fue propagándose gradualmente entre los pueblos de Extremo Oriente y de Europa (se sabe que la rueda no llegó a Gran Bretaña hasta el año 500 a. de C.). Las primeras ruedas eran totalmente macizas; estaban hechas con tres gruesos tablones, unidos por tirantes transversales de madera y con los extremos aserrados de manera que el conjunto adquiriese forma circular. Un eje de madera atravesaba la rueda por un orificio previamente practicado en el centro de ésta (normalmente, se solía aprovechar el hueco que quedaba después de extraer un nudo de la madera), y un par de topes clavados en el eje, uno a cada lado de la rueda, impedían que ésta se balancease o se soltase.

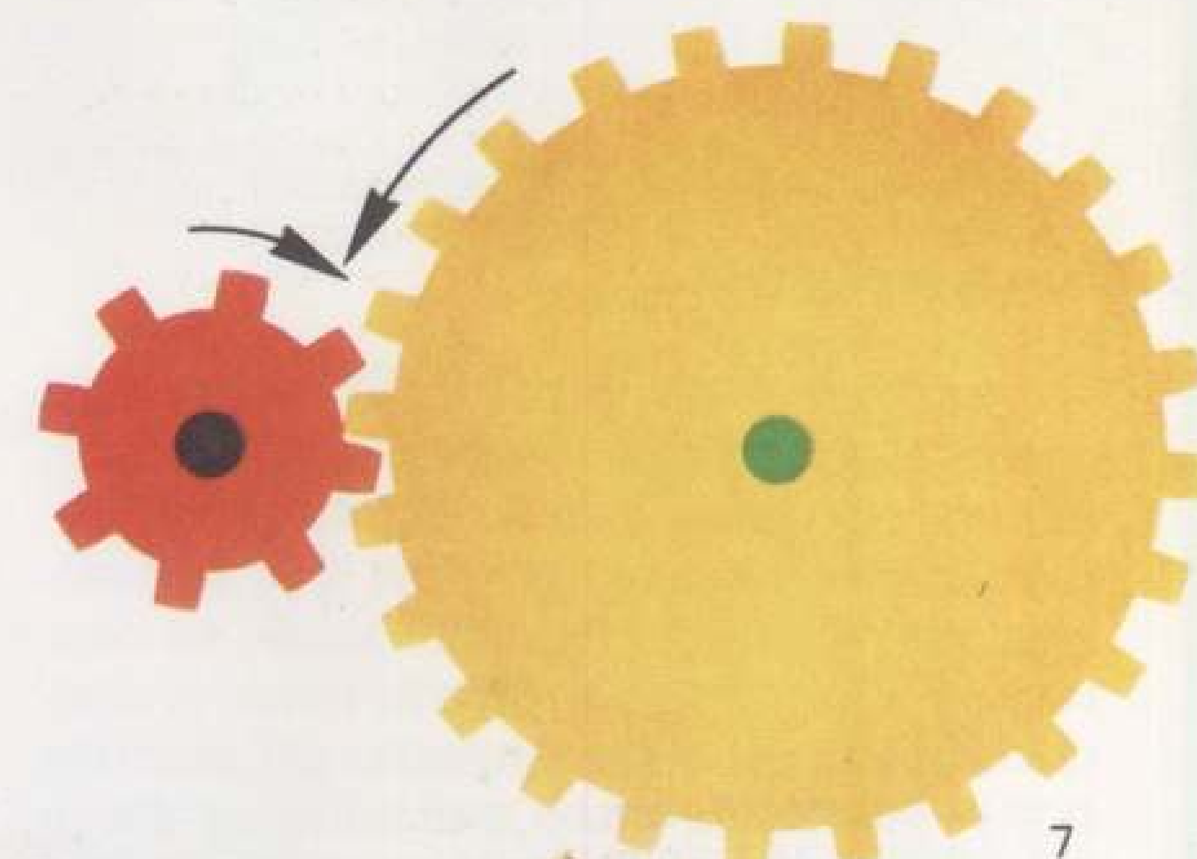
Todavía no se sabe con seguridad si en estos primeros carros las ruedas giraban libremente alrededor del eje o si, por el contrario, las ruedas estaban fijadas al eje, y era éste el que realmente giraba sobre sí mismo.

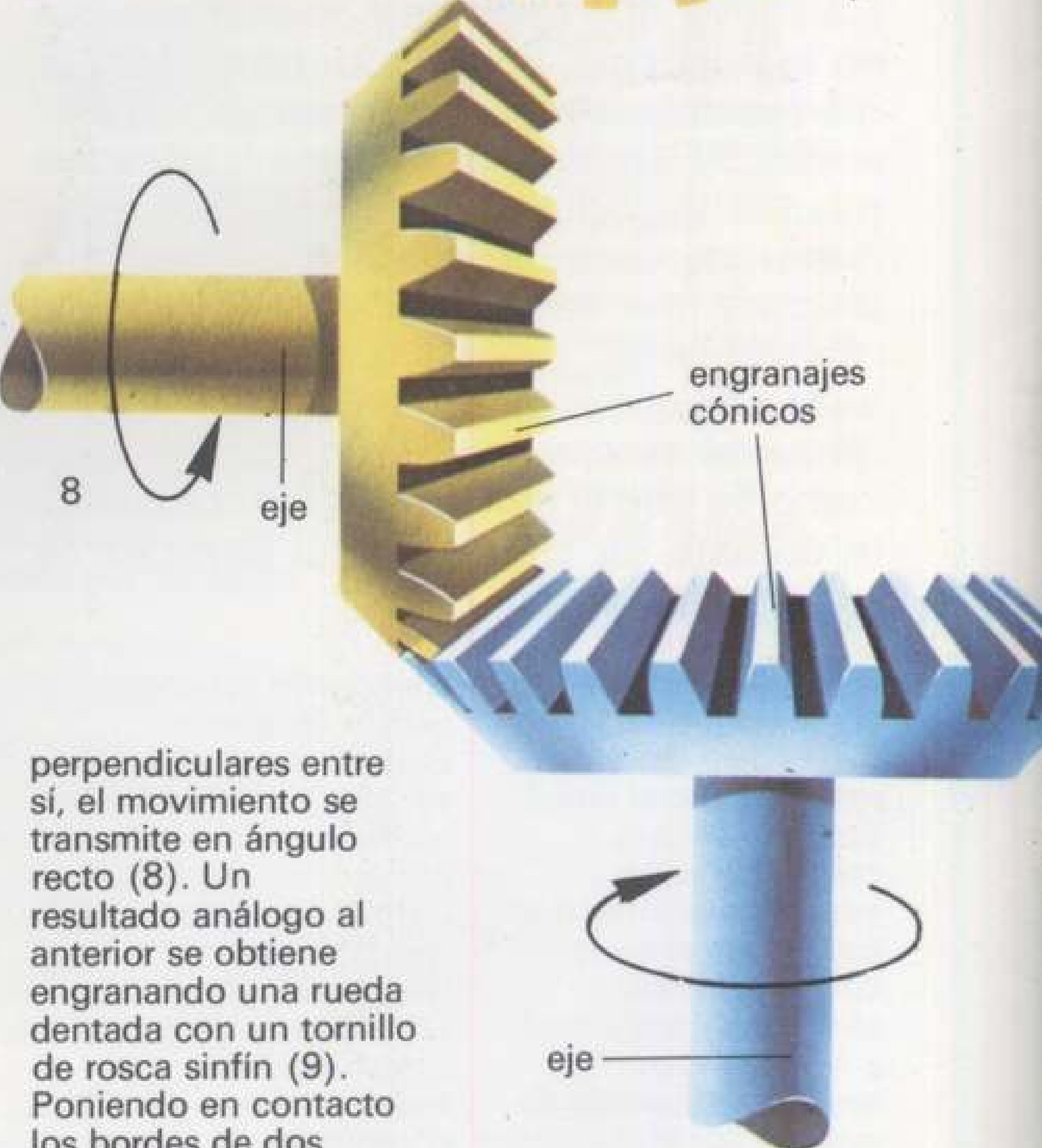
Un modelo posterior fue el carro de dos ruedas, en el que cada una de ellas giraba con independencia de la otra; este tipo de carro presentaba la gran ventaja de po-





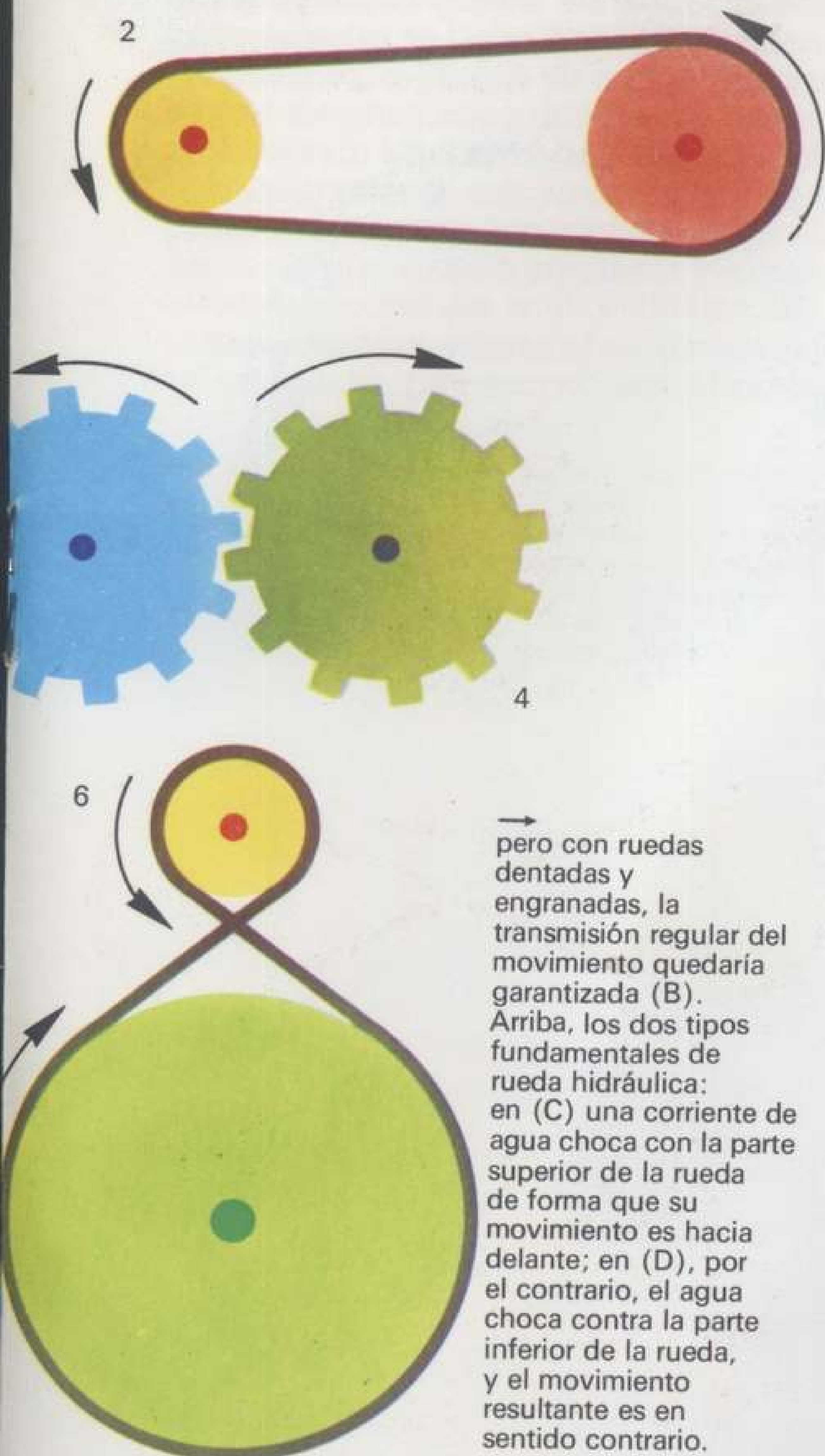






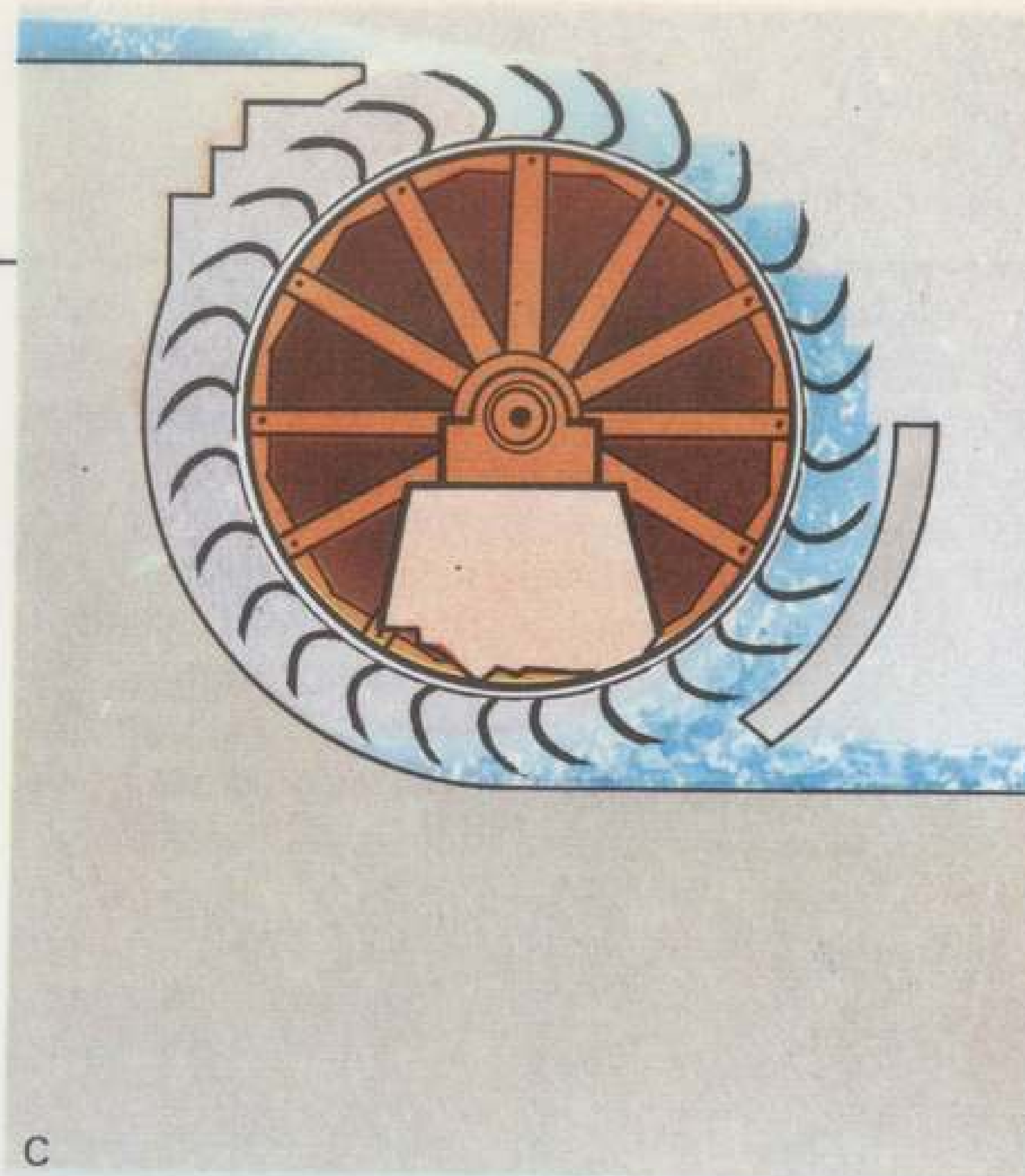


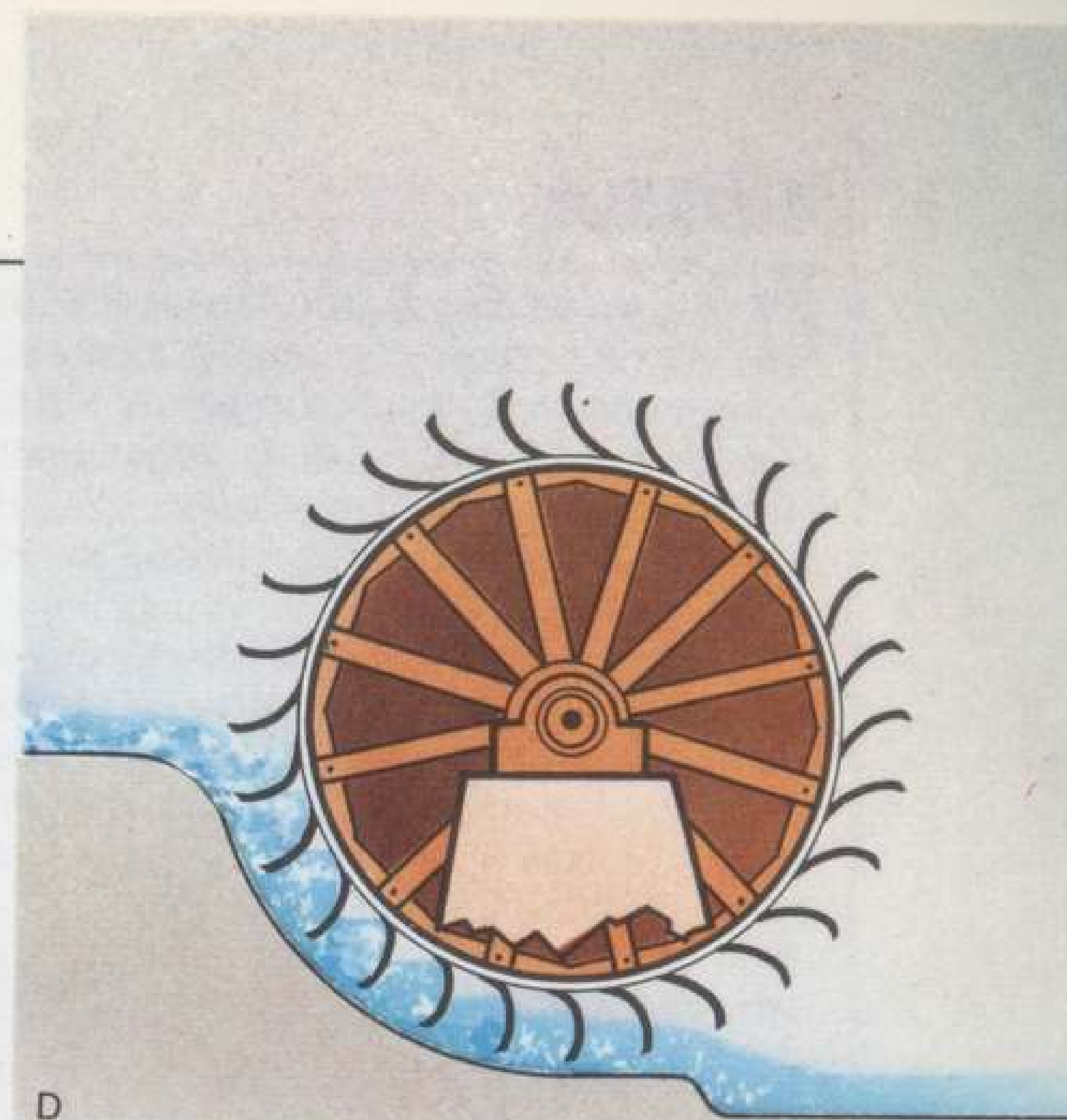
Una de las aplicaciones más importantes de las ruedas es la transmisión del movimiento rotatorio. Dos ruedas de igual radio, unidas mediante una cinta, giran de acuerdo con un movimiento rotatorio de igual velocidad y sentido (1). Ruedas con radio distinto giran con el mismo sentido y distinta velocidad (2), lo mismo que dos ruedas dentadas con distinto radio, una dentro de la otra (3). Con dos ruedas dentadas de igual radio y engranadas (4) y con dos ruedas, también de igual radio y unidas mediante una cinta cruzada (5) se transmite un movimiento de igual velocidad y distinto sentido. Si en este último caso los radios son distintos, su movimiento respectivo se realiza, además, con velocidad de rotación distinta (6). Lo mismo sucede con dos ruedas dentadas de distinto radio (7). En el caso de ruedas dentadas cónicas, engranadas y con ejes de rotación perpendiculares entre sí, el movimiento se transmite en ángulo recto (8). Un resultado análogo al anterior se obtiene engranando una rueda dentada con un tornillo de rosca sinfín (9). Poniendo en contacto los bordes de dos ruedas (R y r) que giran en el mismo plano (A), y dependiendo de la presión que ejercen entre sí, puede darse el caso de que una arrastre a la otra con la misma velocidad o, por el contrario, si la adherencia no es suficiente, que una resbale por falta de agarre. En el caso de que repitiésemos esta misma experiencia, →



transmisión de un movimiento de rotación entre ruedas con ejes paralelos

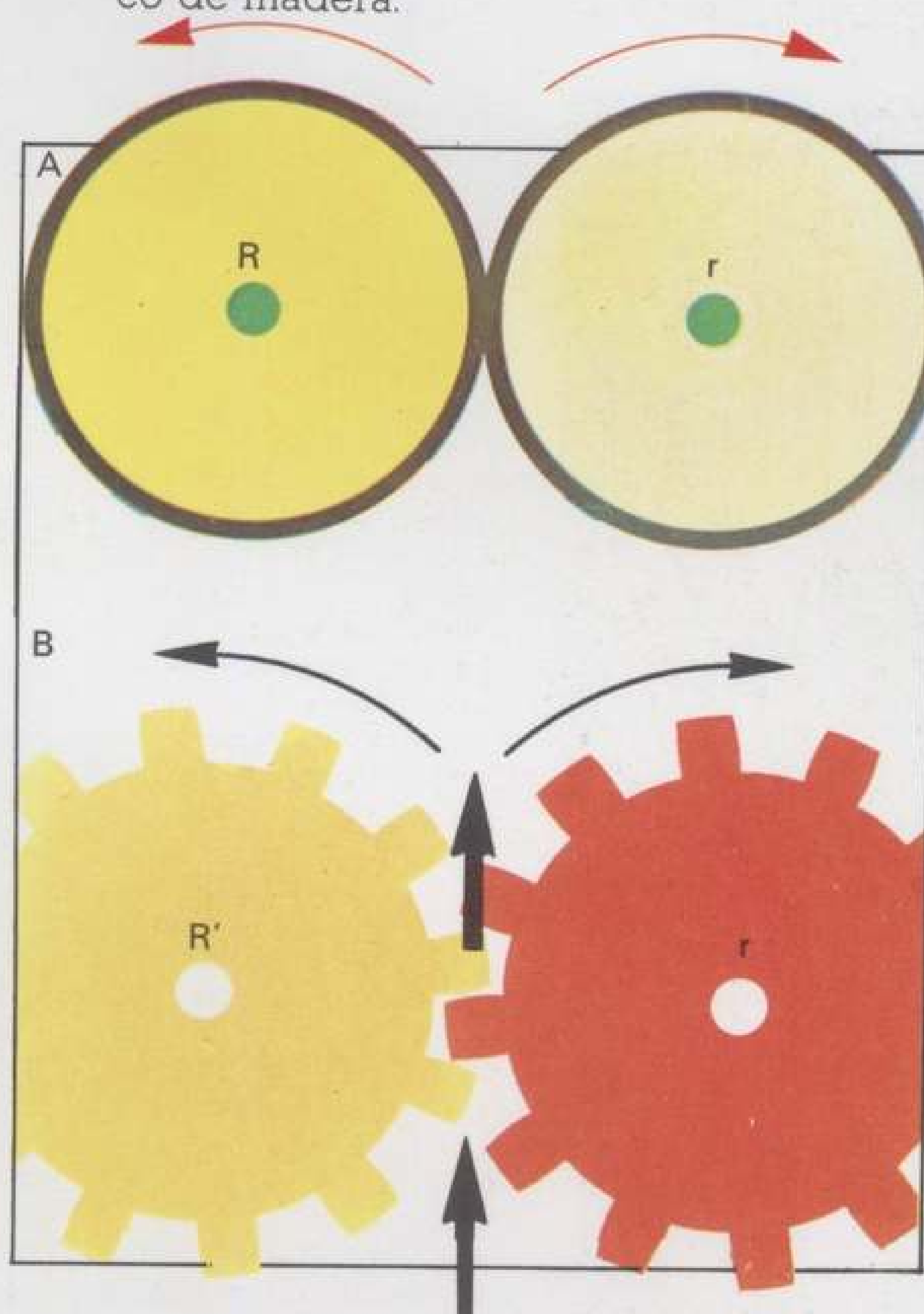
→ pero con ruedas dentadas y engranadas, la transmisión regular del movimiento quedaría garantizada (B). Arriba, los dos tipos fundamentales de rueda hidráulica: en (C) una corriente de agua choca con la parte superior de la rueda de forma que su movimiento es hacia delante; en (D), por el contrario, el agua choca contra la parte inferior de la rueda, y el movimiento resultante es en sentido contrario.





9

tornillos con rosca sinfín



der tomar las curvas más fácilmente, ya que la rueda exterior, al tener que realizar un mayor recorrido que la interior, tenía la posibilidad de hacerlo con una velocidad de rotación superior.

En torno al año 2000 a. de C., en tierras de Mesopotamia y de Turquía, apareció por primera vez la rueda de radios, lo que supuso una importante mejora sobre la pesada rueda maciza. Los radios eran de madera y se hallaban perfectamente encajados en la rueda: sus extremos se ajustaban a presión en el interior de una serie de orificios practicados tanto en el centro como en el perímetro interno del cerco. Este último, a su vez, también constituía un elemento nuevo de la rueda, ya que antes no existía como tal. La fabricación del cerco era compleja, pues requería del ensamblaje de piezas curvadas previamente mediante un tratamiento con fuego. Con el fin de evitar su deterioro, se cubría con una llanta de cuero, que podía cambiarse en caso de desgaste. Posteriormente, se utilizaron aros metálicos que se dilataban mediante calor, de forma que al contraerse se adaptaban con gran precisión al cerco de madera.

Las ruedas de radios se convirtieron, así, en un elemento fundamental en la evolución de los vehículos de locomoción, adquiriendo una especial importancia en la construcción de carros de combate, a los que este tipo de rueda confería gran maniobrabilidad.

Ruedas hidráulicas y molinos La rueda hidráulica representó una importante aportación de la civilización romana al desarrollo tecnológico del hombre. Se sabe que la rueda hidráulica ya se utilizaba como elemento motor de los molinos en el siglo I a. de C. Su estructura era similar a la de las grandes ruedas de aspas, tan características de los barcos de vapor del siglo pasado. Al igual que éstas, las ruedas hidráulicas son accionadas por el agua, que es conducida hacia unos cangilones que están firmemente dispuestos alrededor de la circunferencia externa de la rueda y ligeramente inclinados de cara a la caída del agua, con el fin de aprovechar al máximo su impulso. Estos sencillos sistemas mecánicos se utilizaban para elevar el agua de regadío o para transformar su energía de movimiento en la energía mecánica necesaria para mover las piedras de molino y llevar a cabo la molienda del grano. Para la transmisión del movimiento, estos molinos se sirvieron de los primeros sistemas de engranajes conocidos; su mecánica era sencilla y sólo contaban con ruedas dentadas de diverso tamaño, que se adaptaban perfectamente entre sí, transfiriéndose el movimiento de una a otra. De esta forma se podía transformar un movimiento horizontal en vertical o viceversa. En los molinos de río, por lo general, la rueda de agua estaba dispuesta horizontalmente, debajo del edificio, de manera que el agua procedente del canal chocaba contra sus aspas y la hacía girar alrededor de un eje vertical. Este último, a su vez, tenía su extremo superior firmemente afianzado a la rueda superior del molino, de forma que le comunicaba el movimiento de giro sobre la piedra de moler, llamada muela.

Con el tiempo, las ruedas hidráulicas se adoptaron como fuentes de energía para serrar maderas, triturar mineral, forjar metales y accionar los fuelles de las fraguas.

El engranaje utilizado originariamente en los molinos se fue progresivamente perfeccionando hasta convertirse en el principio básico del movimiento rotatorio y en un elemento fundamental de la futura Revolución Industrial.

Véase **Engranaje**

Sabana

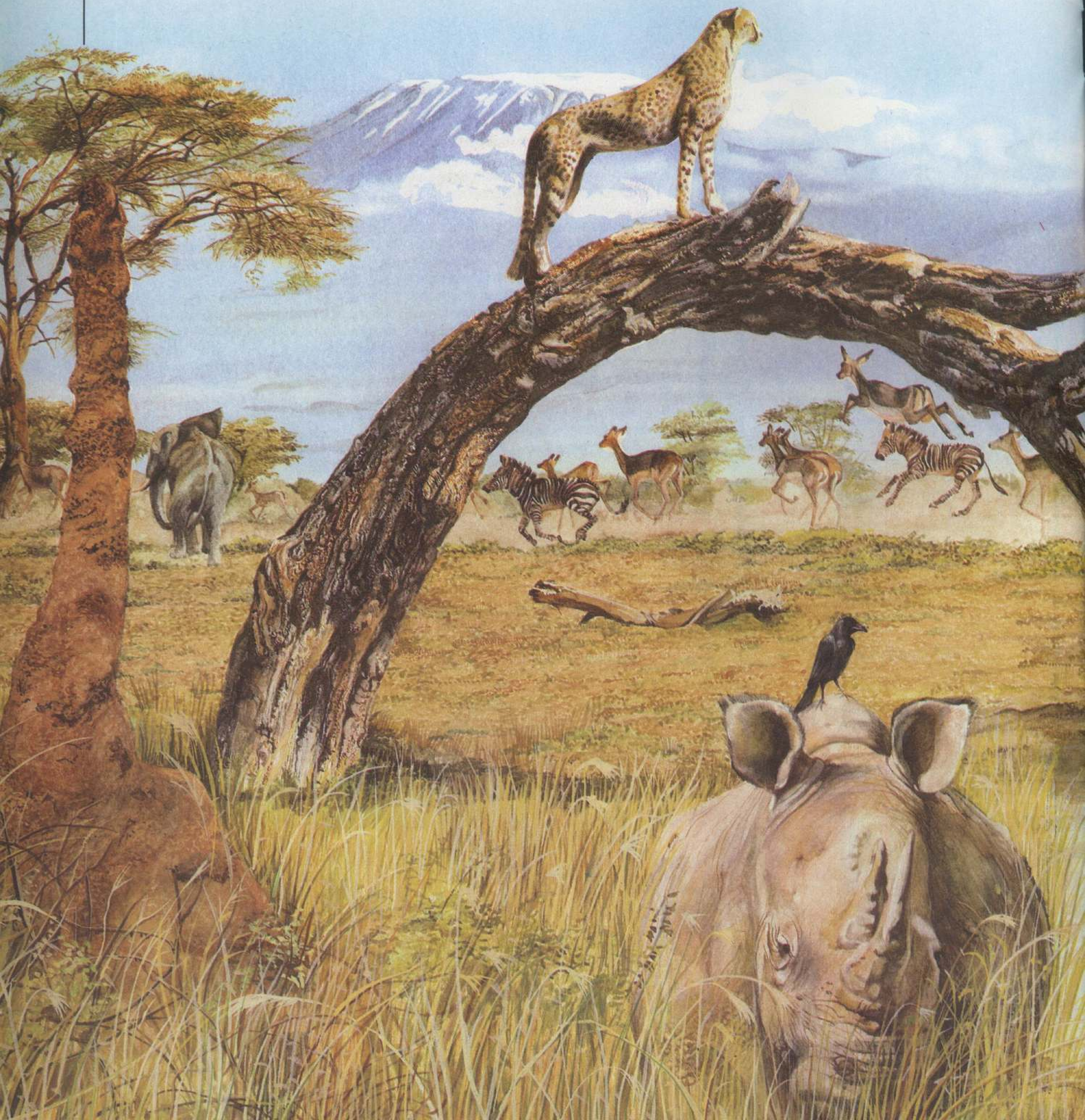
Una escena típica del Parque Nacional de Serengeti (Tanzania): varios ñus se encuentran a la sombra de las acacias espinosas, mientras que un grupo de cebras pasta en la pradera abierta; mientras tanto, un leopardo acecha desde la rama de un árbol.

Así es la sabana, que se caracteriza por sus extensiones de pradera con árboles dispersos, sus grandes mamíferos herbívoros y los depredadores de éstos.

Aunque también hay sabanas en Australia, Asia y América del Sur, éstas nos resultan menos familiares que las africanas, debido a que su fauna actual no es tan abundante ni goza de ejemplares tan grandes como los que se encuentran en el continente africano.

Las sabanas, que ocupan una superficie de unos 11.000.000 de km², se encuentran en regiones tropicales donde se alternan las estaciones de lluvia y de sequía, con una pluviometría anual comprendida entre los 500 y 2.000 mm. Las sabanas constituyen un tipo de llanura cuyo suelo tiene, por lo general, poco humus y escaso drenaje. Su topografía está dominada a menudo por inmensos termiteros, típicos de estos hábitats, que alcanzan los cuatro metros y medio de altura.

El ambiente de la sabana, con distintas variantes, puede ser de dos tipos: sabana arbolada, con hierbas muy altas entre las



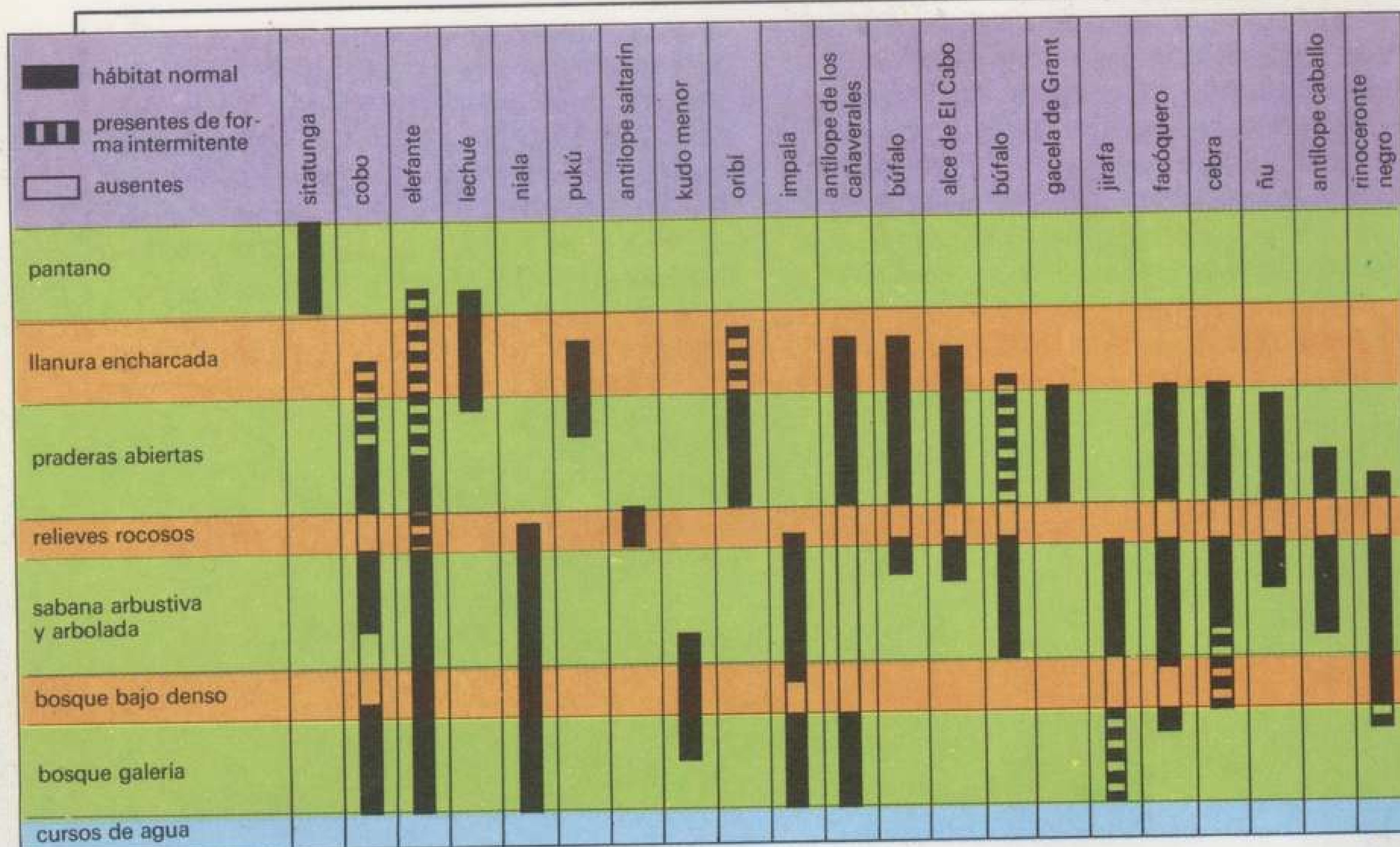
que sobresalen grupos de pequeños árboles caducifolios o perennifolios, y sabana arbustiva, en la que el tapiz herbáceo, a base de gramíneas xerófilas, es bajo, y cuyo estrato arbustivo está formado por latifolias, perennifolias y caducifolias, que se pueden encontrar esparcidas o reunidas en formaciones continuas.

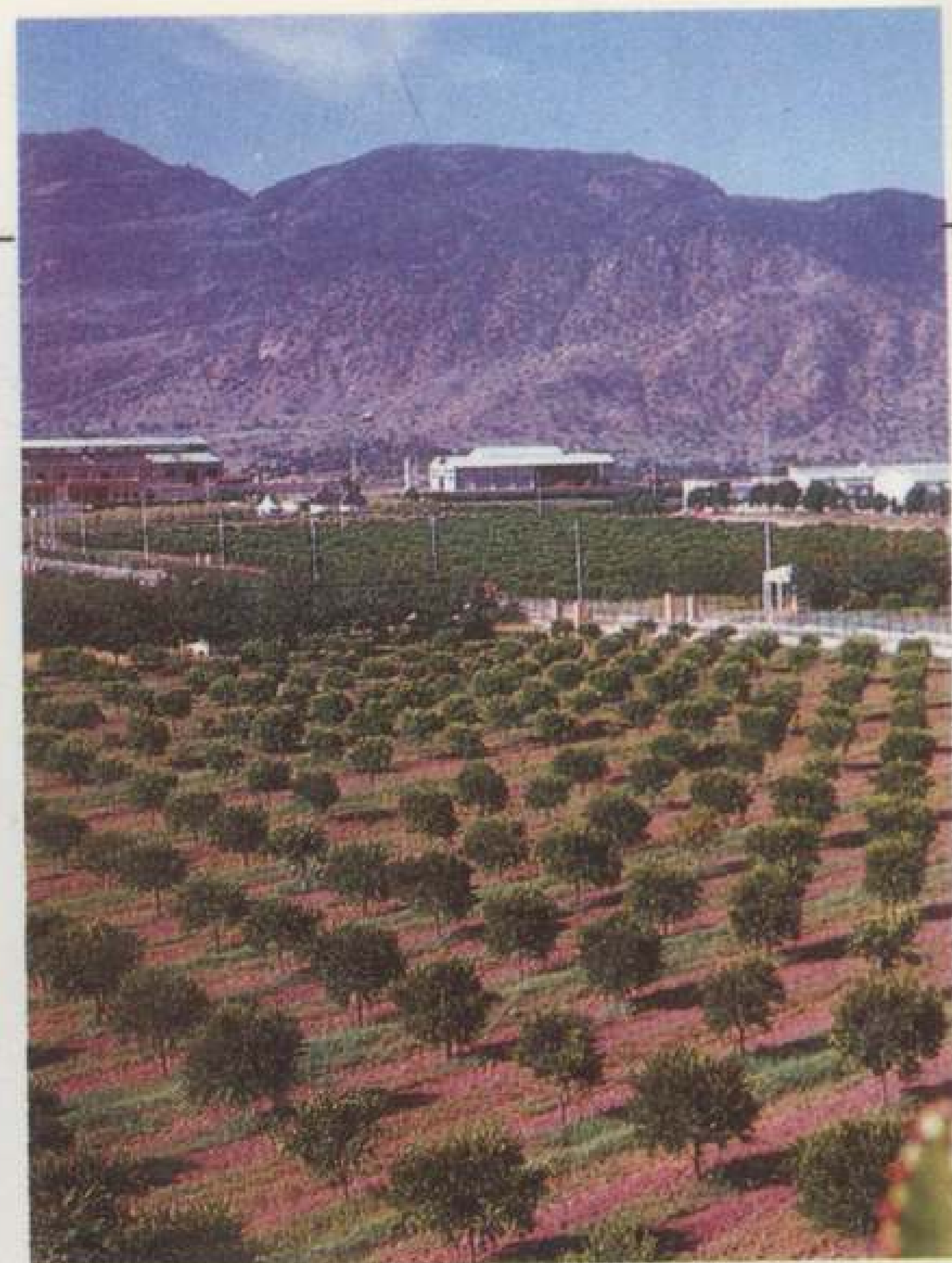
Entre bosques y llanuras No se conoce con exactitud cómo perpetúan su existencia los hábitats de la sabana. Dejando a un lado los efectos derivados de la alimentación de ciertos herbívoros, hay científicos que sostienen que son los incendios, que destruyen los jóvenes árboles sin llegar a dañar las raíces de las hierbas, los que determinan la continuidad de la sabana en un área determinada.

En este sentido, los investigadores han demostrado que, en ciertas zonas de Sudamérica, lo que impide que las sabanas se transformen en bosques son los incendios causados por el propio hombre, aun cuando durante el Pleistoceno (hace 1,8 millones de años) hubo una serie de variaciones climáticas que determinaron la aparición espontánea de sabanas en las mismas zonas. En la actualidad, estas sabanas sudamericanas, que en su día formaban una extensión continua, están separadas por otros tipos de formaciones, y a consecuencia de ello comparten, en



En Africa, la sabana, con su equilibrio en constante cambio y su continuo antagonismo entre árboles, hierbas y animales, alcanza su clímax. Es la zona de la Tierra donde todavía se pueden encontrar ejemplares de la fauna que hace millones de años poblaba todo el planeta. Los consumidores herbívoros (de primer orden), los carnívoros (de orden superior) y los descomponedores desempeñan funciones específicas en cada nicho ecológico.







gran medida, su fauna y su flora. Existen pequeñas áreas aisladas que se consideran zonas de refugio o ambientes relictos.

Durante el Pleistoceno, el clima experimentó importantes oscilaciones, responsables de la alternancia de períodos húmedos y secos. En los períodos húmedos, los bosques ocupaban casi todas las zonas, dejando áreas dispersas de sabana en las que se refugiaban la flora y fauna características; en los períodos secos, en cambio, predominaban las sabanas, mientras que los húmedos valles de los ríos servían de "refugio" a las selvas ecuatoriales. En estos refugios tuvo lugar una intensa *especiación* (formación de nuevas especies). En efecto, los continuos cambios de hábitat han sido, al parecer, una de las causas principales de la gran diversificación de especies animales y vegetales en los trópicos.

En la sabana africana, la continuidad se mantiene gracias a las complejas interacciones entre los incendios y la alimentación de los herbívoros. La hierba es más apetitosa y nutritiva cuando está creciendo, mientras que cuando está alta y seca se quema con más facilidad. La hierba que crece después de un incendio atrae a los ñus, búfalos y otros grandes mamíferos, que al pastar intensamente mantienen las praderas con la hierba muy corta, lo que reduce las posibilidades de que se produzcan otros incendios.

Cuando crecen los árboles, el hábitat se hace más intrincado y menos accesible a las grandes manadas de herbívoros. La hierba, entonces, crece, favoreciendo nuevos incendios que queman las jóvenes plantas, y vuelve a aparecer la sabana.

Una vida acostumbrada al fuego Las formas vivientes de la sabana han llegado a adaptarse al fuego. No sólo hay muchas plantas que lo toleran, sino que, incluso, hay algunas que lo necesitan para que puedan germinar sus semillas.

Los vegetales leñosos crecen a partir de sus yemas, que están en la parte superior de la planta, mientras que la hierba crece a partir de su base. Esta diferencia en la forma de crecimiento contribuye al mantenimiento de la sabana. Al producirse un incendio, el fuego se desplaza tan velozmente que no genera el suficiente calor como para que las raíces de las hierbas se destruyan; en cambio, quema los tallos y las copas de las plantas jóvenes. Sólo los árboles más viejos y altos se salvan de la quema.

También los animales están adaptados a estos frecuentes incendios. Los más pequeños se refugian en madrigueras subterráneas, salvándose así de las llamas, que arrasan la superficie. Dado que los incendios se propagan durante la estación seca, los jóvenes ungulados, nacidos en la estación húmeda, ya son lo bastante grandes como para huir junto con sus mayores.

En cambio, más del 60% de los insectos y otros invertebrados pueden perecer a causa del fuego o de la consiguiente escasez de alimento y refugios.

Los vegetales de la sabana Muchos de los árboles dispersos por las sabanas de Africa y Australia pertenecen al género *Acacia*. En Africa, la mayoría de las acacias están provistas de espinas, como defensa contra los animales herbívoros, mientras que en Australia, donde los únicos grandes herbívoros son algunos canguros, no son muy frecuentes las plantas espinosas. En gran parte de las sabanas norteamericanas, el nicho ecológico del género *Acacia* está constituido por varios cactus espinosos; otros árboles típicos de las sabanas son las palmeras y los baobabs (*Adansonia digitata*).

En los prados predominan las gramíneas, una de las familias de mayor difusión. También se desarrollan muchas otras especies de plantas herbáceas, aunque incapaces de competir con esta última.

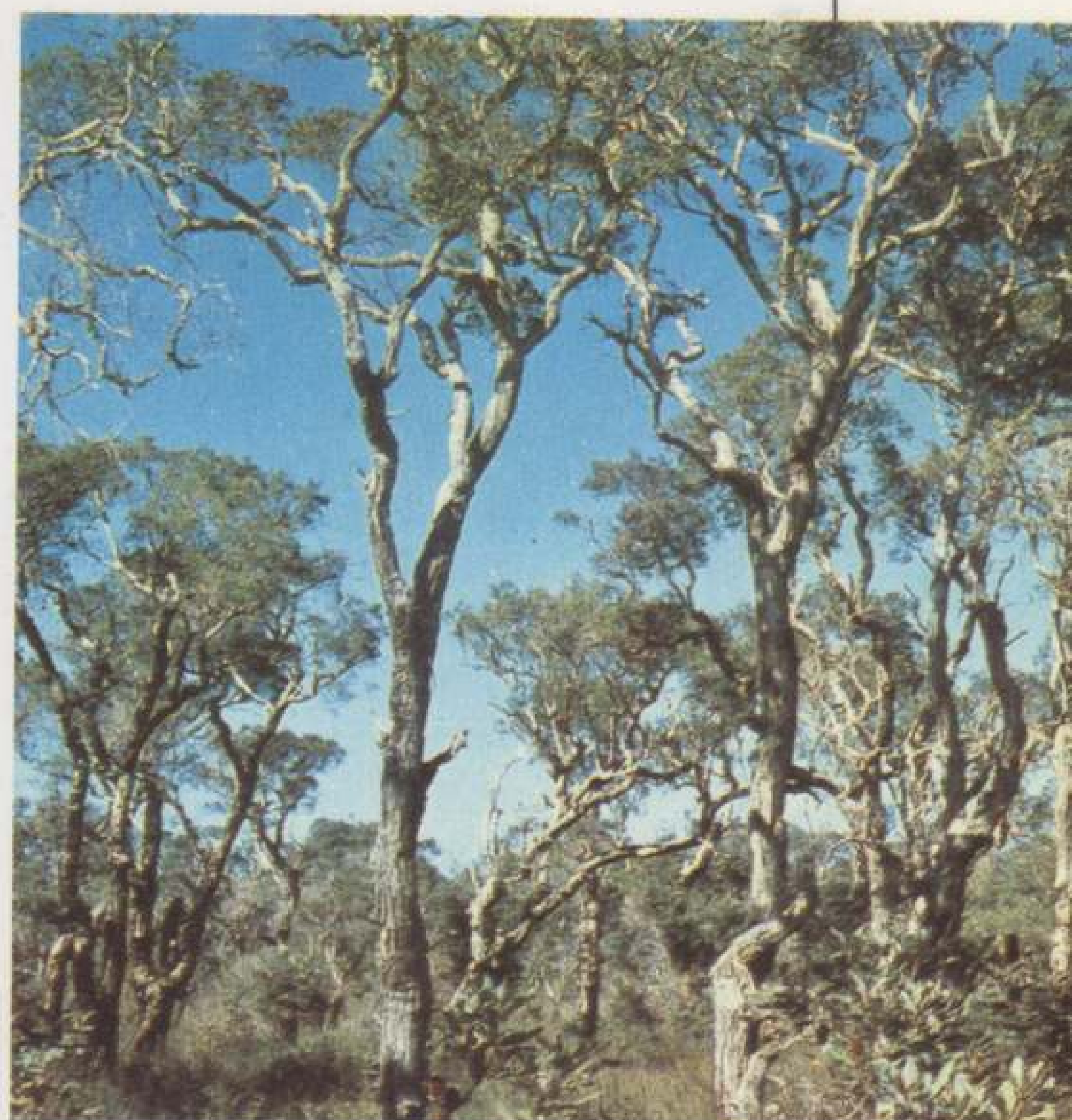
Los animales de la sabana Los animales que pueblan la sabana africana son bien conocidos por todos; no lo son tanto, en cambio, las interacciones que existen entre las distintas especies, que a veces conducen a insólitas formas de asociación común. En efecto, no es raro encontrar manadas formadas por animales diferentes, como ñus, cebras, avestruces y babuinos, pastando en la misma zona. Se trata de agrupamientos adaptativos, ya que proporcionan un sistema común de alarma frente a depredadores, como los leones y los licaones; la presencia de éstos puede quedar al descubierto gracias a la excelente vista de los avestruces, al olfato de las cebras o al oído de las gacelas.

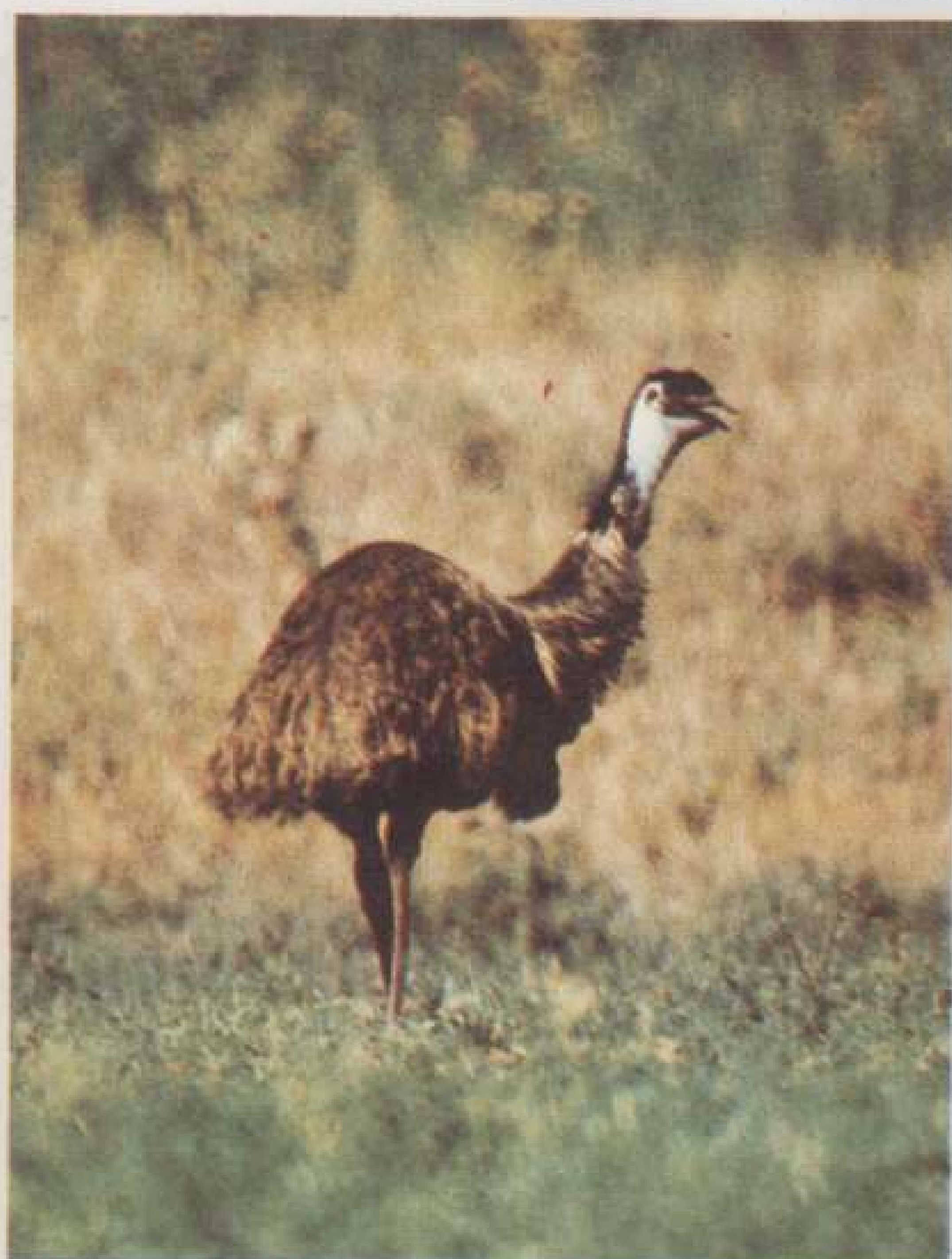
Si se piensa en el enorme número de mamíferos que pueblan las sabanas, inmediatamente surge la pregunta de cómo pueden alimentarse todos.

Una sabana, en la que sólo se podrían criar de 2.500 a 7.500 kg de ganado por hectárea, puede mantener, sin embargo, de 12.000 a 25.000 kg de grandes mamíferos salvajes. La diferencia estriba en que el ganado domesticado sólo come hierba, llegando incluso a paralizar su crecimiento sobre extensas áreas, mientras que los mamíferos de la sabana han desarrollado diversos mecanismos para aprovecharse de su entorno sin destruirlo. Cada especie tiene su nicho ecológico, con unas preferencias alimentarias especiales. Por ejemplo, aunque los antílopes, las cebras y los ñus comen avena roja, cada uno de ellos la prefiere en una fase distinta de su crecimiento: los ñus comen las hojas verdes y los brotes, las cebras, los tallos maduros, y los antílopes, los rastrojos de las hierbas quemadas.

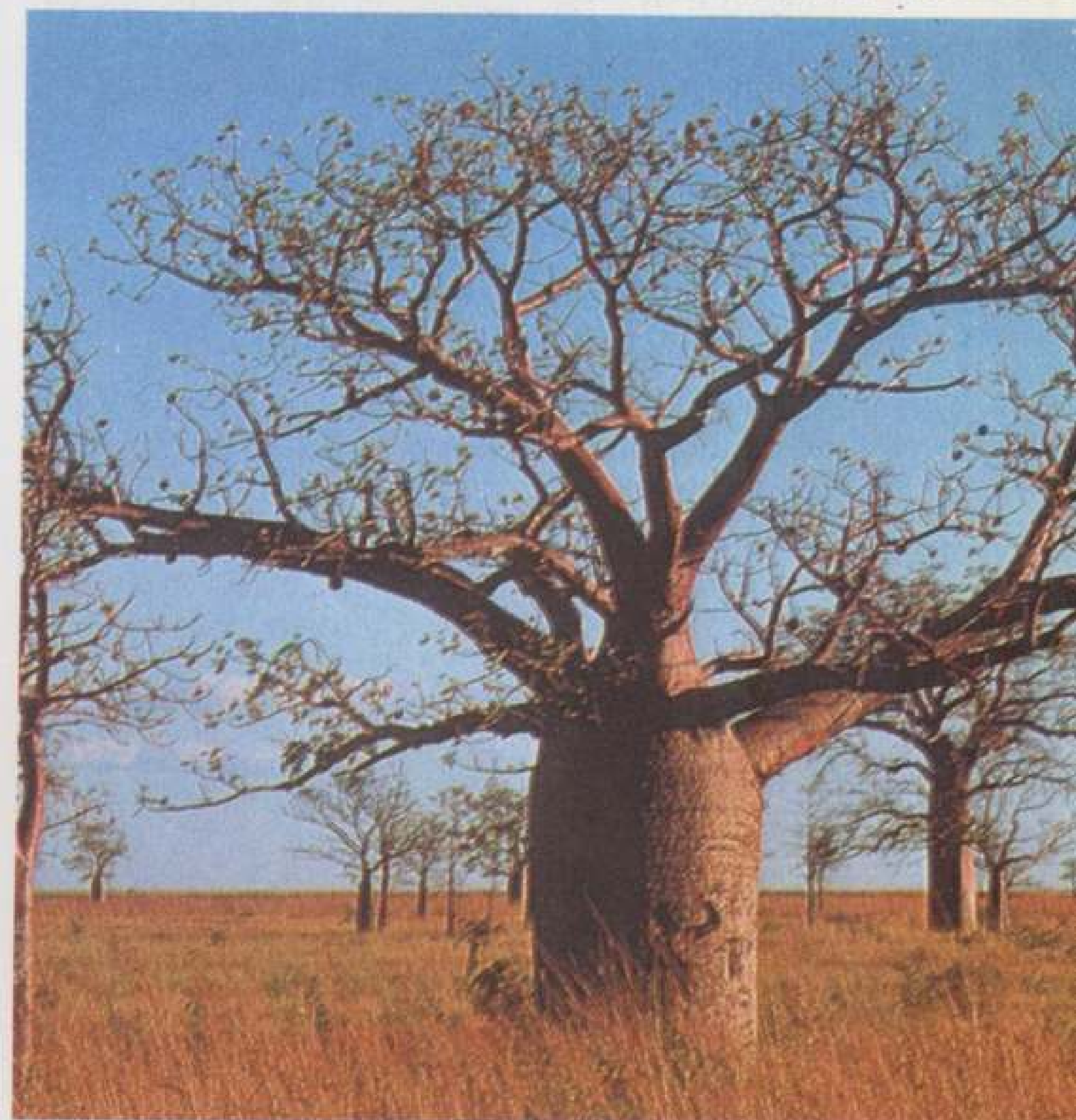
En ciertas áreas, la sabana, que tradicionalmente ha sido tierra de nómadas, se ha recuperado para los cultivos, como se aprecia en esta granja modelo de Etiopía con agricultura intensiva (izquierda). Las demás imágenes ofrecen distintos aspectos de la sabana en su estado natural. En la página anterior, arriba, tabla de los desplazamientos de los herbívoros en busca de los lugares de vegetación más variada y rica durante la estación húmeda, y los viajes más largos que emprenden durante la estación seca.



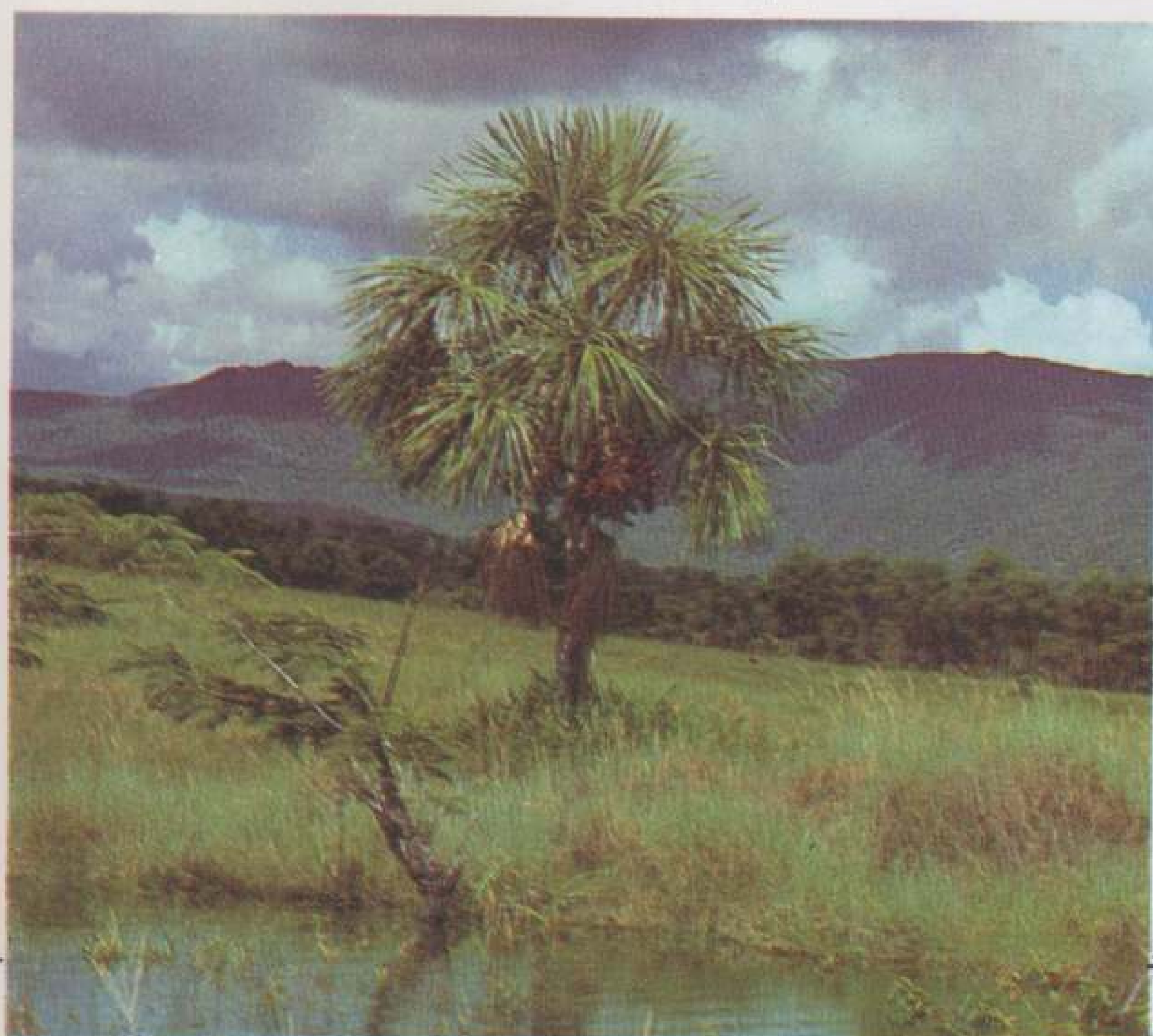








La sabana es también fuente de alimentación para muchos mamíferos que comen hojas, como el pequeño dic-dic, la gacela de Grant, el gerenuk y la jirafa; todos ellos se alimentan de las hojas que alcanzan a distintas alturas del árbol. Los elefantes, que se alimentan de las hojas de los árboles y de hierba, ayudan al mantenimiento de la sabana al abatir muchos de estos últimos. En cambio, en zonas como los parques nacionales, donde las poblaciones de elefantes son confinadas en recintos, las costumbres de estos grandes animales pueden surtir el efecto contrario. La concentración de una manada de elefantes puede devastar completamente un área de sabana arbustiva.



La sabana australiana, llamada *scrub* (matorral), se caracteriza por tener árboles y arbustos de hojas consistentes y coriáceas. Destaca sobre todo el género *Eucalyptus* (arriba, a la derecha), baobab (debajo de la foto anterior) y, entre los animales, el canguro y el emú, el avestruz australiano. A la izquierda de estas líneas un aspecto de la sabana (*llanos*) colombiano-venezolana, durante el período de las lluvias. Arriba, en el centro, dos animales típicos de la sabana: el conejo silvestre y el armadillo, típico de la sabana sudamericana.

El hombre ha tratado de introducir en la sabana razas domésticas de bovinos y ovinos, aunque sin éxito. Las investigaciones han demostrado que los animales salvajes indígenas pueden producir más carne por unidad de superficie si hay una vegetación más variada. Se trata de una fauna mejor adaptada a las condiciones climáticas locales, con inmunidad natural a muchas infecciones que asolan a los animales europeos cuando se crían en los trópicos. Por ello, en ciertas zonas de Africa se ha intentado explotar el ganado salvaje. Si tiene éxito, esta iniciativa contribuirá a conservar el hábitat de la sabana.

Véase **Pradera**

Sacarina y otros edulcorantes

La sacarina, un sustituto del azúcar, fue descubierta en 1879 por Ira Remson y Constantine Fahlberg en la Johns Hopkins University. El nombre científico de este compuesto, que se puede encontrar en el comercio tanto en forma de gotas como de pastillas, es sulfamida benzoica, y, a igualdad de peso, su poder edulcorante es de 100 a 500 veces superior al del azúcar (sacarosa).

La ventaja principal de los edulcorantes sintéticos es que carecen de hidratos de carbono y, en consecuencia, al no elevar los porcentajes de glucosa en la sangre, su consumo es apto para las personas diabéticas; por otra parte, se utilizan también para tratar la obesidad, al carecer de poder energético y no aportar calorías al organismo.

Coeficiente de seguridad En 1969 fue prohibido en diversos países el uso de la sacarina y de otros edulcorantes, especialmente del ciclamato, al surgir la sospecha de que podía tratarse de sustancias cancerígenas. Se realizaron una serie de experiencias con ratas de laboratorio a las que se administró 2.250 mg diarios de ciclamato por kilo de peso. El resultado fue el desarrollo de tumores de vejiga en algunas de estas ratas.

No obstante, estos experimentos, aunque demostrativos del poder perjudicial de los edulcorantes sintéticos, están sujetos en sí mismos a discusión, ya que a los animales de laboratorio empleados (en este caso ratas) se les habían suministrado dosis 10.000 veces superiores a las que un ser humano consumiría en un año. Además, las ratas, respecto a otros animales, están más facilmente expuestas a ciertos tipos de cáncer. Por otro lado, recientes investigaciones estadísticas no han podido constatar que los enfermos de diabetes, grandes consumidores de sacarina o ciclamato, presenten una mayor incidencia de cánceres. Así como tampoco se ha demostrado la existencia de consumidores habituales de sacarina entre las personas afectas de cáncer de vejiga. En consecuencia, la impresión actual es que ciertos intereses comerciales pudieron jugar un papel importante en la divulgación del posible peligro cancerígeno de la sacarina y del ciclamato, y que, en definitiva, no se corre ningún riesgo por recurrir a tales sustancias para endulzar los alimentos.

Otros sustitutos del azúcar Los ciclamatos (ácido N-cicloexilsulfámico y sus sales de calcio o de sodio) fueron casualmente descubiertos en 1937 por Ludwig Andrieth y Michael Sveda, de la Universidad de Illinois. Los ciclamatos fueron ampliamente usados en las bebidas dietéticas hasta 1969, año en que fueron prohibidos en varios países. Los ciclamatos son casi 50 veces más dulces que el azúcar; usados en combinación con la sacarina, reducen el regusto de esta última.

En Europa se utilizan a menudo sustitutos del azúcar, como el 5-nitro-2-propoxianilina, probablemente la sustancia más dulce jamás producida (4.000 veces más dulce que el azúcar). El uso de esta sustancia no ha sido, sin embargo, aprobado en Estados Unidos. Otro compuesto utilizado en Europa, Africa del Norte, Brasil, Filipinas, México y Canadá es el *aspartame* (formado por dos aminoácidos, L-fenilalanina y acido L-aspártico). Su empleo fue aprobado en Estados Unidos en octubre de 1981, pero no está todavía muy difundido. El aspartame es casi 200 veces más dulce que el azúcar pero no es utilizable con productos cocinados al horno ya que el tratamiento con calor le hace perder su capacidad edulcorante. Finalmente, la *dulcina*, utilizada en Europa pero no en Estados Unidos, es una sustancia 300 veces más dulce que el azúcar.


Todos los edulcorantes arriba mencionados han generado grandes discusiones ya que no se conoce la máxima tolerancia de ninguno de ellos antes de convertirse en tóxico para el hombre. En la actualidad se está investigando sobre dos sustitutos extraídos de frutos: el *naringindihidrocalcone* y el *neoesperidindihidrocalcone*. La *naringina* se encuentra en la cáscara del pomelo y es 300 veces más dulce que el azúcar; la *neoesperidina*, que se encuentra en la variedad de naranjas Sevilla, es 1.500 veces más dulce que el azúcar, y el hecho de que se pueda extraer más fácilmente que la naringina hará probablemente que aparezca en el mercado mucho antes que ésta.

El *asolfame k*, un edulcorante derivado del ácido acetoacético, es casi 200 veces más dulce que el azúcar y no tiene regusto. Es relativamente estable al calor y en un amplio intervalo de pH, pero su uso no ha sido todavía aprobado en ningún país.

La *glicirrizina*, un edulcorante 100 veces superior al azúcar, se extrae de la raíz del orozuz y, se emplea también como aromatizante de tabacos, productos farmacéuticos y confituras. Debe su sabor azucarado al amoniaco que la acompaña.

PRINCIPALES MOLECULAS "DULCES"

Edulcorantes naturales	Edulcorantes naturales proteicos	Edulcorantes naturales no nutritivos	Edulcorantes sintéticos
Azúcares: carbohidratos constituyentes de las células, fundamentales para los procesos bioquímicos de la vida celular y para los diversos procesos biológicos: tienen funciones edulcorantes y nutricionales. *Sacarosa:* azúcar propiamente dicha, disacárido, utilizado al natural; es extraído de la remolacha (*Beta vulgaris var. altissima*) y de la caña de azúcar (*Saccharum officinarum*). *Miel:* edulcorante natural de alto poder nutritivo. Es elaborado por las abejas a partir del néctar de las flores; contiene un 80% de azúcares, proteínas y vitaminas. *Jarabes de glucosa y frutosa:* edulcorantes obtenidos por tratamiento enzimático del almidón, polisacárido presente en los vegetales como material de reserva. *Lactosa:* disacárido, azúcar de la leche, tiene poder edulcorante inferior al de la sacarosa; su estructura molecular favorece la caramelización. *Azúcares-alcoholes naturales:* polialcoholes existentes en la Naturaleza correspondientes estructuralmente a los azúcares; tienen sabor dulce y entre los más conocidos están el manitol, el sorbitol y otros. Están difundidos en los frutos de las rosáceas *Pirus, Sorbus, Prunus*.	*Miraculina:* contenida en las bayas de *Sinsepalum dulcificum*, arbusto de Africa occidental. Es una sustancia capaz de dar un agradable sabor dulce a alimentos ácidos, como el limón, el pomelo, el ruibarbo. El principio activo de la miraculina es una glicoproteína no dulce en sí misma pero capaz de producir esta agradable sensación cuando la lengua entra en contacto con sustancias ácidas. *Taumatina:* agente edulcorante de la *Katemfe Thaumatococcus Danieli*, planta tropical del Africa occidental; está constituida por dos proteínas con un poder edulcorante 600 veces superior al de la sacarosa.	*Esteviosido:* glucósido contenido en las hojas de la *Stevia Reubodiana Bertoni*, la "hierba dulce" utilizada por las poblaciones del Paraguay para endulzar las bebidas amargas; no es metabolizable si se ingiere oralmente. *Glicirrizina:* sustancia edulcorante extraída de las raíces de la *Glycyrrhiza glabra*; es 50 veces más dulce que la sacarosa y es utilizada como edulcorante para los caramelos. *Fillodulcina:* el principio activo del té dulce infuso de las hojas de *Hydrangea macrophylla* tiene un poder edulcorante 200-400 veces superior a la sacarosa. De su estructura química se han obtenido productos edulcorantes de síntesis aún en estudio. *Lo Hak Kuo:* fruto de la *Momordica grosvenovi swingle* de Asia meridional, ya en uso en la medicina popular japonesa. Contiene un glucósido con poder edulcorante 400 veces superior al de la sacarosa. *Oslandia:* principio edulcorante contenido en los rizomas del helecho *Polypodium vulgare*. Es un glucósido 3.000 veces más dulce que la sacarosa. *Perillartina:* presente en el aceite esencial de *Perilla namkemonsis*, con poder edulcorante 2.000 veces superior a la sacarosa.	*Sacarina:* primer edulcorante sintético, 200-400 veces más dulce que la sacarosa. Compuesto aromático derivado del benceno, se presenta como un polvo cristalino, blanco, fácilmente soluble en el agua. *Acesulfamek:* sal potásica derivada del ácido acetoacético, con analogías estructurales y organolépticas con la sacarina; poder edulcorante 130 veces superior a la sacarosa. *Dulcina:* edulcorante sintético cuyo poder edulcorante es de 70 a 350 veces superior al de la sacarosa, presenta notable toxicidad y es sospechosa de ser un producto cancerígeno. *Ciclamatos:* tienen un poder edulcorante de 30 a 80 veces superior al de la sacarosa. Son sales de sodio o de calcio del ácido cicloexilsulfámico y son empleados como sustitutos de la sacarina. Son sospechosos de poder cancerígeno y, por tanto, están retirados del comercio. *DHC* (edulcorantes del dihidrocalcone): de alto poder edulcorante, se obtienen a partir de sustancias amargas presentes en la cáscara de los cítricos. Oportunos tratamientos químicos modifican su estructura molecular. *Aspartame:* dipéptido sintético compuesto de ácido aspártico y fenilalanina, con un poder edulcorante de 100 a 200 veces superior al de la sacarosa; la fracción edulcorante es proporcionada por el ácido aspártico, del cual se han sintetizado otros edulcorante sintéticos.



El mecanismo de la percepción del dulce es probablemente provocado por la formación de enlaces, llamados de hidrógeno, entre dos parejas de grupos análogos, localizadas, una sobre la molécula del compuesto, y la otra sobre el punto activo del receptor. Un grupo es indicado con B, el otro con AH. Para que tenga lugar el "reconocimiento" entre moléculas en el punto activo, una molécula dulce tiene que superar o atravesar la membrana biológica que envuelve al aparato receptor. La molécula dulce podrá atravesar la membrana, de naturaleza lipídica, sólo en el caso de que ésta posea un tercer grupo local llamado "untuoso", capaz de penetrar sin suscitar repulsiones. Los tres grupos, AH, B y γ, constituyen los vértices de un triángulo que define el plano de los receptores del dulce sobre los cuales van a fijarse los grupos edulcorantes de las moléculas. La forma del triángulo es el marco estereoquímico del dulce.

Otros edulcorantes alternativos son los polialcoholes, que incluso teniendo un poder edulcorante inferior al de la sacarosa, son utilizados en la preparación de gomas de mascar y de algunos caramelos. Los más comunes de éstos son el *sorbitol* y el *manitol*.

Véase **Alimentos, aditivos y conservantes; Azúcar; Diabetes**

Sal común

Desde tiempos remotos, la sal ha sido utilizada como condimento, siendo tan apreciada como los minerales preciosos y los aceites. El término salario deriva del latín *salarium*, dinero que se asignaba a los soldados romanos para que éstos pudieran comprar sal.

Recientemente, durante la lucha por la independencia de la India, Gandhi condujo a una multitud hasta las orillas del mar, para recoger sal marina como símbolo de protesta contra la tasa impuesta por las autoridades británicas sobre la sal.

La sal es esencial para la dieta de los seres humanos y de los animales herbívoros. Cuando una persona pierde una gran cantidad de sal con el sudor, esto le produce una sensación de náusea y debilidad. En climas extremadamente calurosos, la realización de esfuerzos requiere a menudo una cantidad de sal adicional que puede ser suministrada al organismo mediante pastillas de sal. Un exceso de sal puede ser igualmente nocivo, contribuyendo a la subida de la presión sanguínea.

Otras sales Si bien la mayor parte de la gente identifica la sal con el condimento usado en cocina, es decir, el cloruro de sodio (Na Cl), el término sal es muy amplio y se refiere a todo compuesto químico obtenido a partir de un ácido, por sustitución parcial de los hidrógenos ionizables por iones metálicos. Las sales se denominan según el ácido del que proceden.

Cuando una sal contiene átomos de hidrógeno en su composición química —por ejemplo, el bicarbonato de sodio ($NaHCO_3$)—, se dice que es una sal ácida; si contiene hidroxilos (OH), se dice que es básica. El cloruro de sodio y cualquier otro tipo de sal que no contenga hidrógeno o grupos hidroxilos se denominan sales neutras. El cloruro de sodio es con mucho la sal más ampliamente extendida sobre la Tierra. Los océanos contienen la mayor cantidad: casi el 2,9% (en peso) del agua marina está constituido por cloruro de sodio. En ciertos mares y lagos interiores la concentración puede ser todavía superior. Por ejemplo, el mar Muerto y el gran Lago Salado de Utah presentan disoluciones de sal con concentraciones de hasta el 18%. Existen también grandes depósitos salinos situados en zonas profundas bajo la corteza terrestre, cuyo espesor puede llegar a alcanzar algunos miles de metros. La sal se encuentra también en pozos alimentados por cursos de agua subterránea que transcurren a través de depósitos de sal.

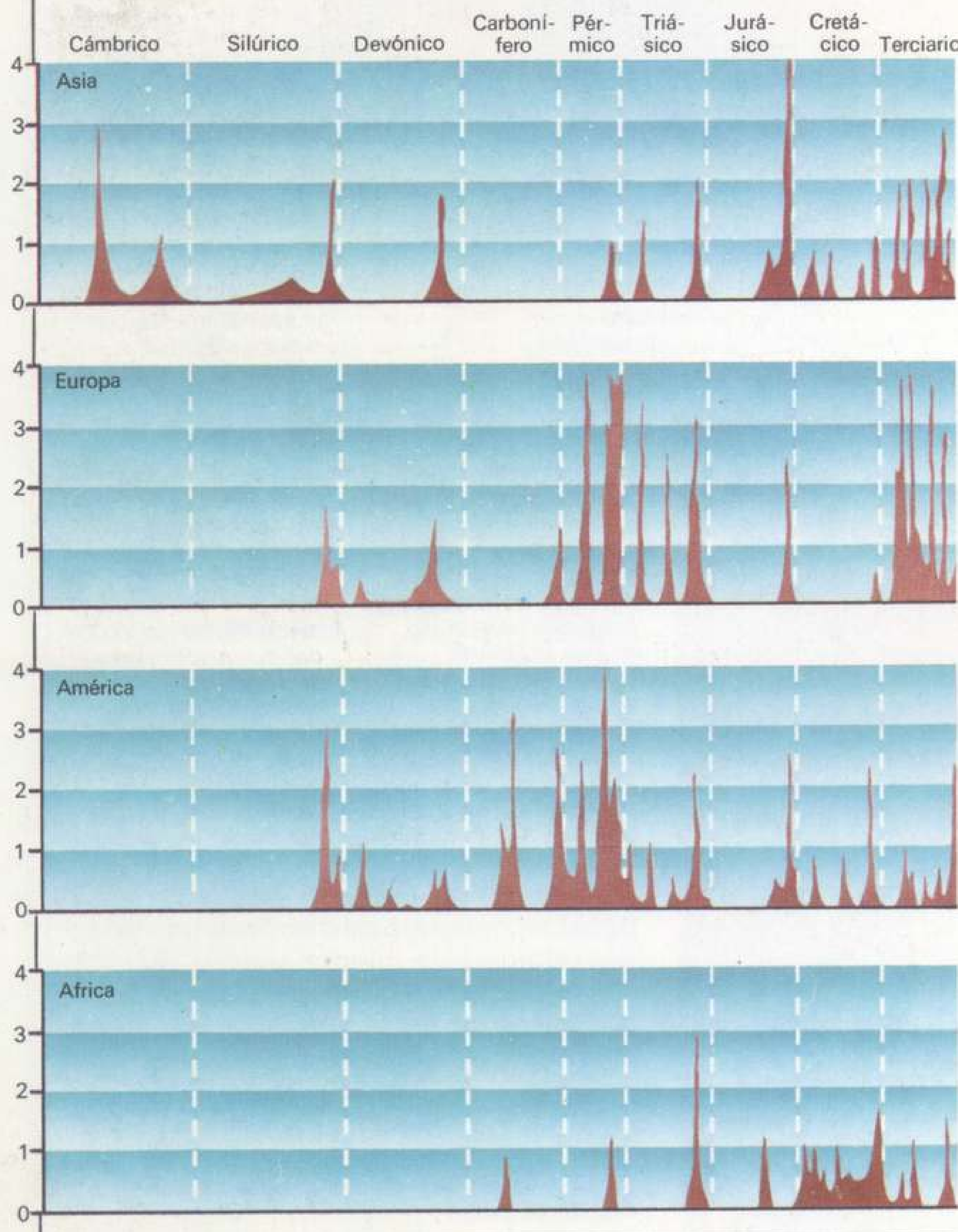
Aplicaciones de la sal El cloruro de sodio tiene su más amplio campo de aplicación en la industria alimentaria, donde se utiliza para conferir sabor y conservar los alimentos. Las industrias conserveras emplean la sal para conservar la carne fresca, como por ejemplo la del cerdo, y para la conservación del jamón crudo y cocido.

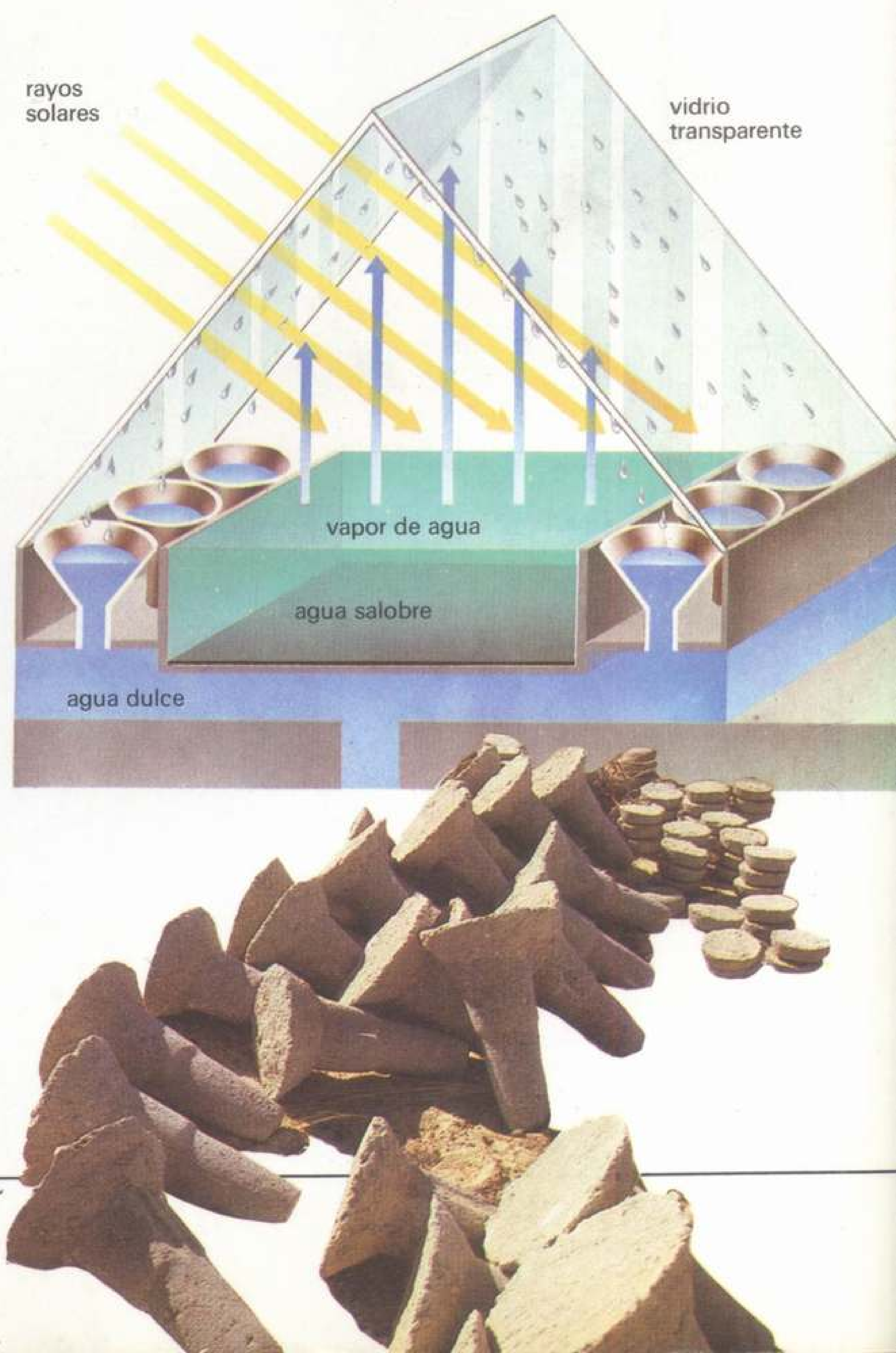
En la industria del cuero, la sal es utilizada para la conservación de las pieles antes del curtido.

El empleo de la sal en la industria química abarca desde la preparación de los compuestos antidetonantes para gasolinas hasta la producción de todos los derivados clorurados. La producción mundial de sal sobrepasa la de gran parte de otros compuestos y la de todos los metales, excepto el hierro.

La sal gema, con un grado de pureza de casi el 98%, se usa directamente en bruto, tal como se extrae de las minas. En otros casos, la sal es sometida a un proceso de purificación, basado en el antiguo método de obtención de la sal por evaporación al sol, en depósitos abiertos, del agua en que está disuelta.

Abajo, a la izquierda, historia de la formación de los grandes depósitos salinos: el nivel 1 indica grandes depósitos de yeso y sal gema; 2, depósitos de yeso, sal gema y anhídridos de notable entidad; 3, depósitos como los precedentes, muy extendidos y con sales potásicas; 4, depósitos enormes de sal gema y sales potásicas. Bajo estas líneas, un destilador que funciona con energía solar: destila el agua de una salmuera y la recoge por condensación en los recipientes de los lados. Más abajo, panes de sal recogidos en Tailandia de los vasos de evaporación, y que serán desmenuzados y transportados a largas distancias, como, por ejemplo, a lo largo de las rutas del Sahara, para distribuir el precioso compuesto entre las poblaciones que carecen de él.





A la izquierda, un espléndido ejemplar de sal gema que proviene de la salina de San Cataldo en Sicilia. Se observa la excelente transparencia de este sólido, que también se emplea en los exámenes de infrarrojo y ultravioleta. Abajo, extracción de la sal de una mina de sal gema en Europa. En la parte inferior, panorámica de las grandiosas salinas de la Camargue, en Francia meridional. En las márgenes del Mediterráneo, donde la fuerte evaporación no es compensada por las lluvias o la aportación de las aguas superficiales, la sal se acumula, formando grandes estanques salinos.

El agua salobre es tratada con cal, a fin de eliminar la mayor parte de las impurezas; luego es vertida en recipientes poco profundos donde la evaporación purifica y concentra la disolución.

Un proceso industrial, basado en los mismos principios, actúa con evaporadores al vacío y a alta temperatura. Esto es posible debido a que la solubilidad de la sal permanece relativamente constante aunque varíe la temperatura (100 gramos de agua pueden contener 35,6 gramos de sal en disolución a punto de congelación y 39,1 a punto de ebullición). La evaporación se efectúa en varios estadios sucesivos con vacío creciente hasta obtener una sal pura.

La producción mundial de sal supera los 100 millones de toneladas. Estados Unidos es el mayor productor con un 25-30% de la producción mundial total.

Véase **Alimentos, aditivos y conservantes; Sales**



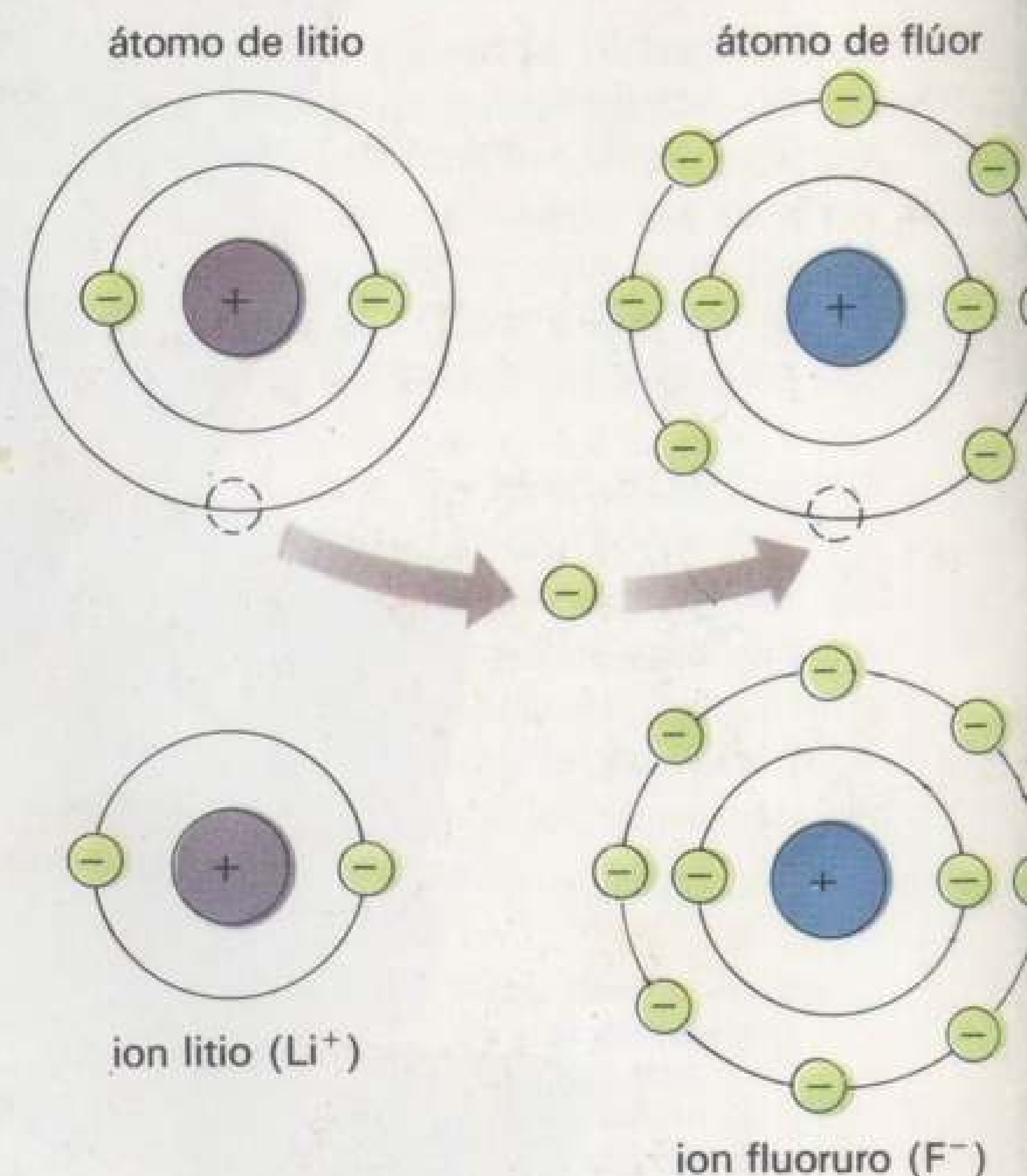
Sales

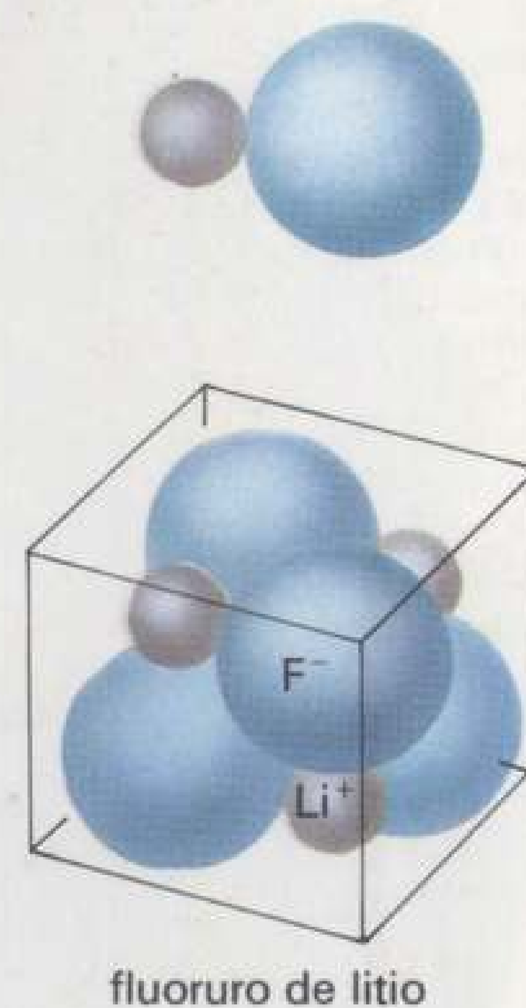
Las sales constituyen una parte importante de los compuestos presentes en la parte sólida y líquida de nuestro planeta. La palabra "sal" procede del término griego "als" que significa grano de sal (marina). Con este nombre se designaban antiguamente todas aquellas sustancias que poseían como características principales el sabor y la solubilidad. Esta concepción sobre la naturaleza de las sales ha prevalecido hasta hace pocos siglos. Los alquimistas y estudiosos de la época estaban, sin embargo, muy lejos de poseer un conocimiento coherente de tales compuestos e incluían bajo la denominación de sales muchas sustancias que no lo eran y, por el contrario, excluían de este grupo otras muchas que ciertamente lo eran. En efecto, los caracteres atribuidos a las sales eran demasiado genéricos; por ejemplo, sustancias como el azúcar son solubles y con sabor, sin ser por ello químicamente sales; por otra parte, diversos compuestos aún siendo sales son muy poco solubles.

Una primera definición químicamente coherente, y no basada en los caracteres de solubilidad y sabor, fue dada por J.B. van Helmont, quien definió las sales como sustancias resultantes de la unión de un ácido con un álcali. Posteriormente, F. Rouelle profundizó en el estudio de las sales, distinguiendo las sales neutras de las sales ácidas y básicas. Pero fue necesario que se desarrollasen las teorías electroquímicas, en el siglo pasado, para que se llegase a una definición más completa de las sales como compuestos de naturaleza iónica obtenidos por neutralización de un ácido con una base.

Si se disuelve en agua un ácido —que por disociación libera un anión y un ion hidrógeno H^+— y una base —que también por disociación libera un catión y un ion OH^-— los iones H^+ y OH^- formados se combinan entre sí dando moléculas de agua, mientras que el anión procedente del ácido y el catión proveniente de la base pueden combinarse entre ellos dando origen a una sal. Tal reacción se denomina *neutralización*. Por ejemplo, tratando en una disolución ácido clorhídrico con hidróxido potásico se obtiene, por neutralización, cloruro de potasio (KCl). En realidad, las sales, dada su naturaleza iónica, son electrolitos fuertes, por lo cual las es-

FORMACION DE LA SAL FLUORURO DE LITIO

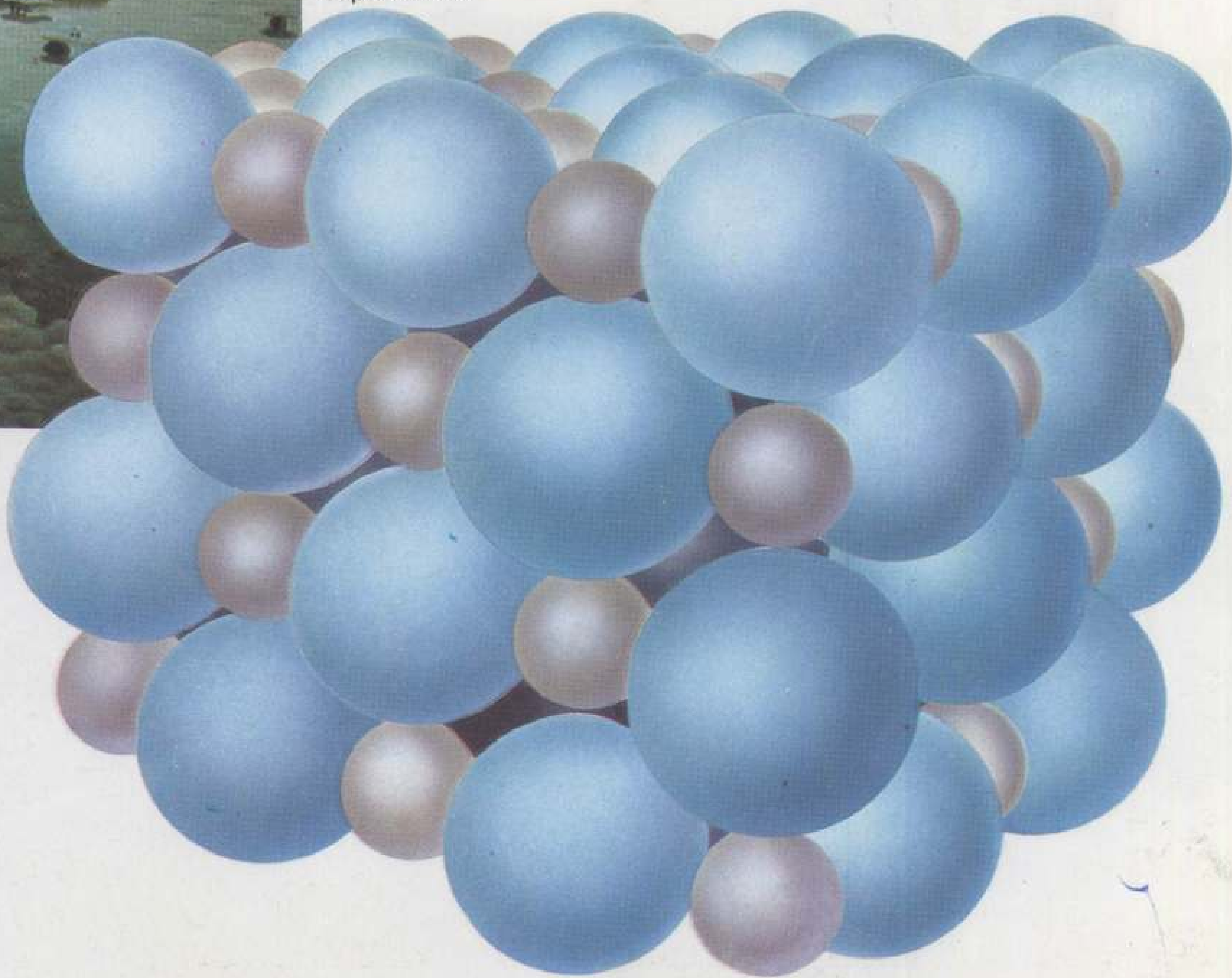




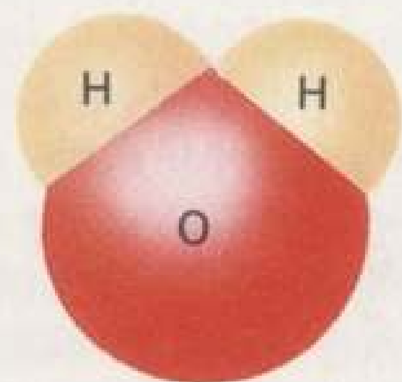
fluoruro de litio



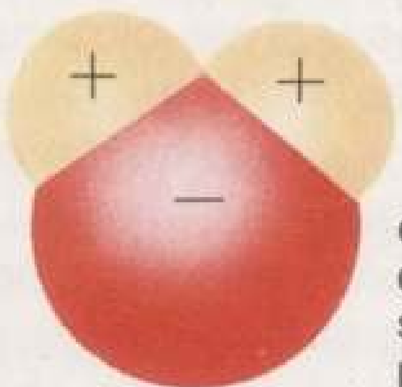
A la izquierda, el mar Muerto. La fortísima evaporación que tiene lugar en ese lago da origen a la formación de costras salinas en las riberas. Los mares han constituido el centro de recogida tanto de las sales desprendidas en las emanaciones volcánicas como de las que se encuentran dispersas en rocas y suelos, actuando como vehículo de transporte las aguas superficiales.



A la derecha, la estructura típica de una sal inorgánica. La mayor parte de estas sales son halogenuros de metales alcalinos que pueden ser imaginados como un retículo cúbico en cuyos vértices se alternan un ion metálico y otro de halógeno. El enlace que se establece en este tipo de sólidos se denomina iónico: en él, el átomo metálico cede un electrón, que es capturado por el halógeno. Ambos átomos tienen así la ventaja de alcanzar la estructura estable de los gases nobles y de establecer un enlace particularmente firme y de tipo electrostático puro. Los iones no están en realidad fijos, sino que oscilan o vibran alrededor de sus posiciones de equilibrio. El tamaño de estas oscilaciones aumenta con la temperatura, de forma que, para un cierto valor de ésta, las fuerzas interiónicas pueden vencerse y el cristal se desmorona y funde.



molécula de agua (H_2O)



distribución de las cargas sobre la molécula polar del agua (dipolo)

ion litio (Li^+) 

ion fluoruro (F^-) 



cristales de fluoruro de litio ($Li^+ F^-$)

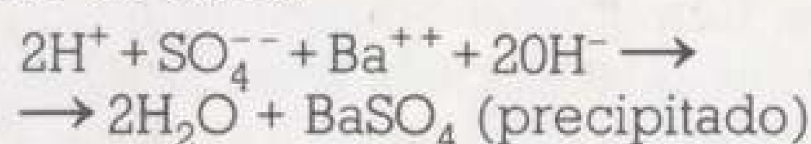
pecies iónicas que los forman quedan separadas en la disolución. La reacción precedente puede ser representada así:



$$H^+ + Cl^- + K^+ + OH^- \longrightarrow$$
$$\longrightarrow H_2O + K^+ + Cl^-$$

Si, en cambio, evaporamos el disolvente, esto es, el agua, el catión y el anión se combinan para dar lugar a la formación de una sal en estado sólido, en este caso el cloruro de potasio.

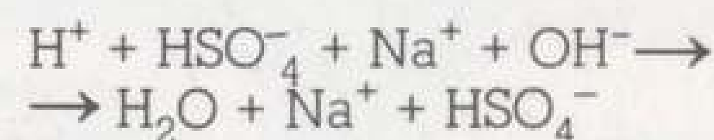
Cuando la sal que se forma es poco soluble en agua, se obtiene directamente la sal sólida sin tener que evaporar el disolvente. Tal es el caso del sulfato de bario, que se obtiene, simplemente, haciendo reaccionar en agua ácido sulfúrico e hidróxido de bario:



$$2H^+ + SO_4^{--} + Ba^{++} + 2OH^- \longrightarrow$$
$$\longrightarrow 2H_2O + BaSO_4 \text{ (precipitado)}$$

Naturalmente no existen sales completamente solubles como tampoco existen sales completamente insolubles; la solubilidad varía con la naturaleza de la sal, según sus características químicas y físicas.

Si en la preparación de una sal se utiliza un ácido que pueda ceder dos o más átomos de hidrógeno (ácido poliprótico), la neutralización con una base puede ocurrir sólo parcialmente, como en el caso de la reacción del ácido sulfúrico con el hidróxido de sodio en la relación molar 1/1:



$$H^+ + HSO_4^- + Na^+ + OH^- \longrightarrow$$
$$\longrightarrow H_2O + Na^+ + HSO_4^-$$

Las sales que se obtienen de esta forma toman el nombre de los ácidos. En el caso particular de evaporar el disolvente se obtiene el Na HSO_4, sulfato ácido de sodio. Análogamente, la neutralización de una base polivalente puede ser únicamente parcial y llevar a la formación de sales básicas.

Si una sal deriva de un ácido y de una base fuertes, las disoluciones acuosas de la sal tendrán una reacción neutra; si, en cambio, el ácido o la base de los cuales deriva la sal son débiles, las disoluciones de la sal tendrán una reacción básica o ácida respectivamente.

Véase **Acidos y bases; Reacción química; Sal común**

En esta página podemos observar cómo, si se sumerge en agua un cristal de fluoruro de litio, las moléculas de agua (dipolos eléctricos) se polarizan en torno a los iones Li^+ y F^- indistintamente. Debido a la elevada constante dieléctrica del agua, se impide la posterior agrupación entre los iones. El agua provoca la disociación (ruptura del enlace iónico) en el fluoruro de litio. Hasta que no se evapore el agua no se formarán nuevos cristales de $Li^+ F^-$.

el cristal de la sal se sumerge en agua

las moléculas de agua "atacan" el cristal, liberando los iones

el cristal se ha disuelto y las moléculas de H_2O circundan los iones

En la página anterior puede verse cómo se forma una sal muy estable, como el fluoruro de litio. El litio tiende a perder un electrón, que está en la periferia del átomo, y el flúor a captarlo. Se forma así una molécula, representada por las dos esferas, en la que ambos átomos comparten un mismo electrón. Abajo, cristal de fluoruro de litio, particularmente estable por la fuerza del enlace iónico.

los iones liberados son hidratados y dispersados en la disolución

Sangre y grupos sanguíneos

La sangre, el líquido que el corazón hace circular a través de las arterias y venas de nuestro organismo, es un elemento fundamental para el mantenimiento de la vida y de las funciones celulares. Constituye, aproximadamente, el 7% del peso total de un adulto, lo que representa un volumen de unos cinco litros. Gracias a la circulación de este líquido, se transportan sustancias de unos lugares a otros del organismo, de forma que las células pueden nutrirse y eliminar sus productos de desecho.

El plasma Considerada como un tejido, la sangre se compone de varios tipos de células con diferentes funciones, y de una sustancia intercelular líquida llamada *plasma*. En el plasma se encuentran disueltas las sustancias nutritivas (glucosa, lípidos, aminoácidos) que la sangre transporta a todos los tejidos del organismo, así como los productos de desecho que se originan en el metabolismo celular y que deben eliminarse a través de los riñones. El plasma transporta también las hormonas, sustancias químicas que se sintetizan en las glándulas endocrinas y regulan el funcionamiento de todos los sistemas orgánicos. Un componente fundamental del plasma lo constituyen las proteínas, que se distribuyen en varios grupos: albúmina, globulinas y fibrinógeno. Dentro de las globulinas cabe destacar el subgrupo de las gamma-globulinas, sustancias proteínicas encargadas de la defensa del organismo frente a las infecciones. El fibrinógeno es una proteína plasmática que desempeña la importante misión de controlar los mecanismos que regulan la coagulación de la sangre.

Finalmente, en el plasma circulan también los iones y las sustancias minerales, de las cuales las más importantes son el sodio, cloro, potasio, fosfato, calcio y magnesio. Estas sustancias intervienen en la regulación de la excitabilidad neuromuscular, así como en otras muchas funciones.

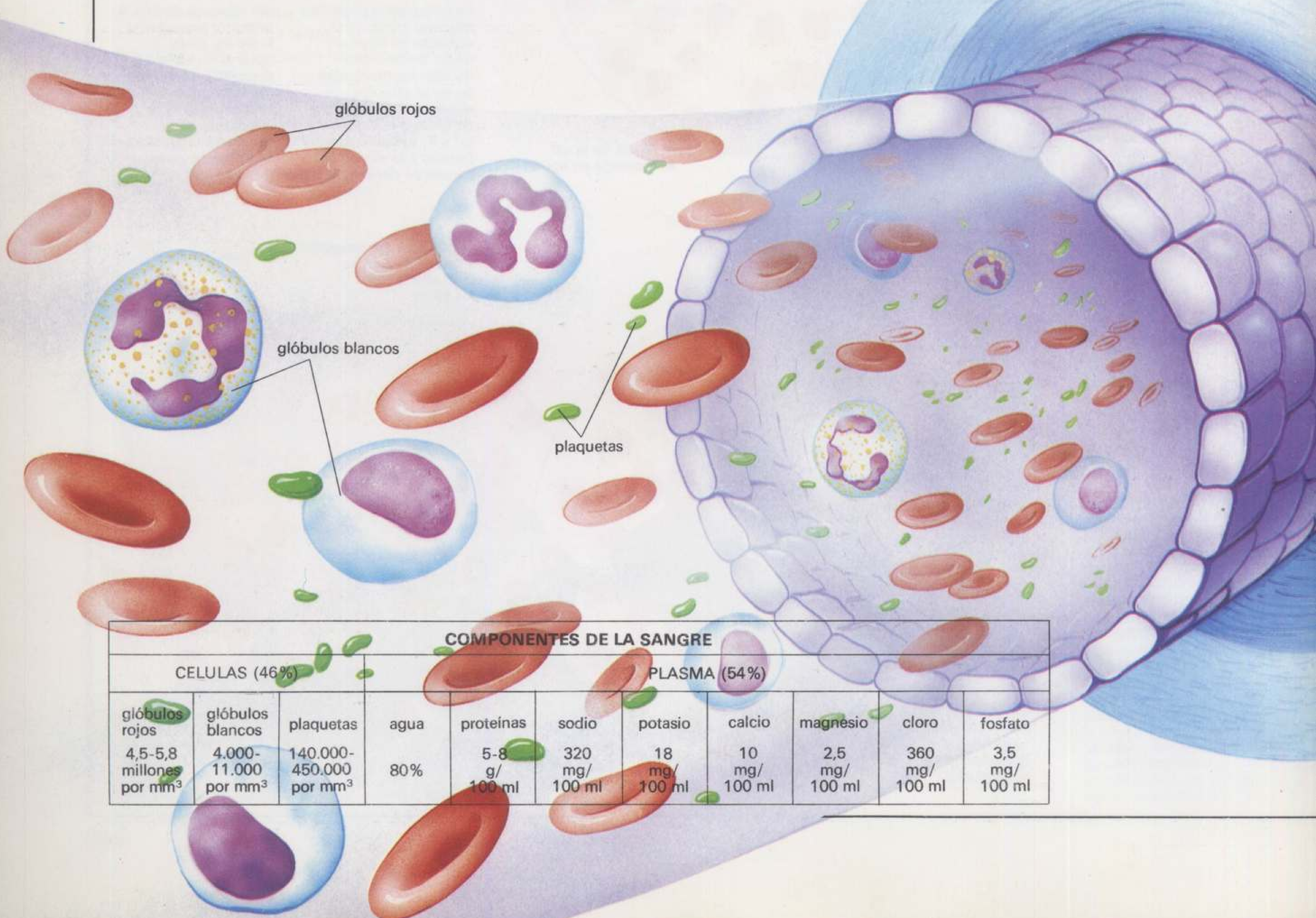
Las células de la sangre En la sangre circulan tres tipos de células: los glóbulos rojos, hematíes o eritrocitos; los glóbulos blancos o leucocitos, y las plaquetas. Todas ellas se originan a través de células precursoras que hay en la médula ósea.

Los *hematíes* son pequeñas células de unas 7 μ de diámetro, desprovistas de núcleo y portadoras de un pigmento denominado *hemoglobina*. La hemoglobina, molécula proteínica formada por la histona "globina" y el pigmento rojo "hemo", posee una característica peculiar: es capaz de captar el oxígeno de los alveolos pulmonares y de cederlo a todas las células del organismo. De este modo, los hematíes se encargan del transporte del oxígeno, elemento fundamental para el metabolismo, a los tejidos corporales.

Los *leucocitos* pueden ser de varios tipos: neutrófilos, eosinófilos, basófilos, linfocitos y monocitos. Todos ellos son células con núcleo y gránulos de distintas características pigmentarias en su citoplasma. La principal función de todos ellos es servir como células de ataque y defensa contra los microorganismos infectantes u otras sustancias lesivas para nuestro cuerpo. Estas células dan lugar a la reacción inflamatoria, mecanismo orgánico de defensa contra cualquier agresión. Los neutrófilos están provistos de gránulos con potentes enzimas capaces de destruir bacterias, mientras que los linfocitos son las células sanguíneas que fabrican las gamma-globulinas antes mencionadas.

Las *plaquetas*, también llamadas trombocitos, son células aun más pequeñas que los hematíes, que desempeñan la importante misión de evitar las pérdidas de sangre cohibiendo las hemorragias. Al producirse la rotura de un vaso sanguíneo, las plaquetas se adhieren al lugar de la lesión y posteriormente se aglutinan, formando una masa que tapona la zona de hemorragia. Al mismo tiempo, participan en el proceso de la coagulación, en el que el fibrinógeno se transforma en fibrina, haciendo más sólido el tapón plaquetario.

Los grupos sanguíneos La sangre de todas las personas no es idéntica. En la membrana de los glóbulos rojos existen



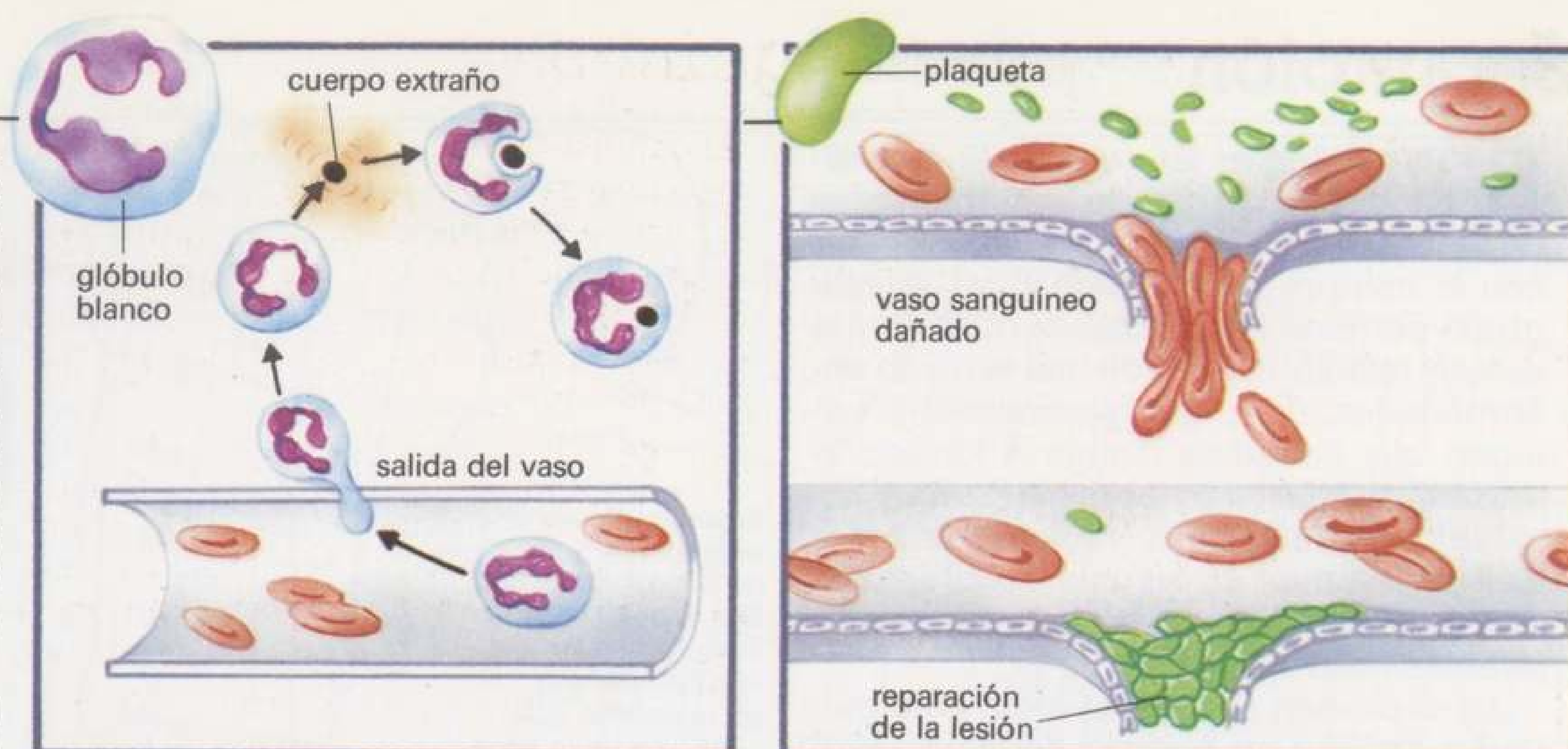
COMPONENTES DE LA SANGRE										
CELULAS (46%)			PLASMA (54%)							
glóbulos rojos	glóbulos blancos	plaquetas	agua	proteínas	sodio	potasio	calcio	magnesio	cloro	fosfato
4,5-5,8 millones por mm³	4.000-11.000 por mm³	140.000-450.000 por mm³	80%	5-8 g/100 ml	320 mg/100 ml	18 mg/100 ml	10 mg/100 ml	2,5 mg/100 ml	360 mg/100 ml	3,5 mg/100 ml

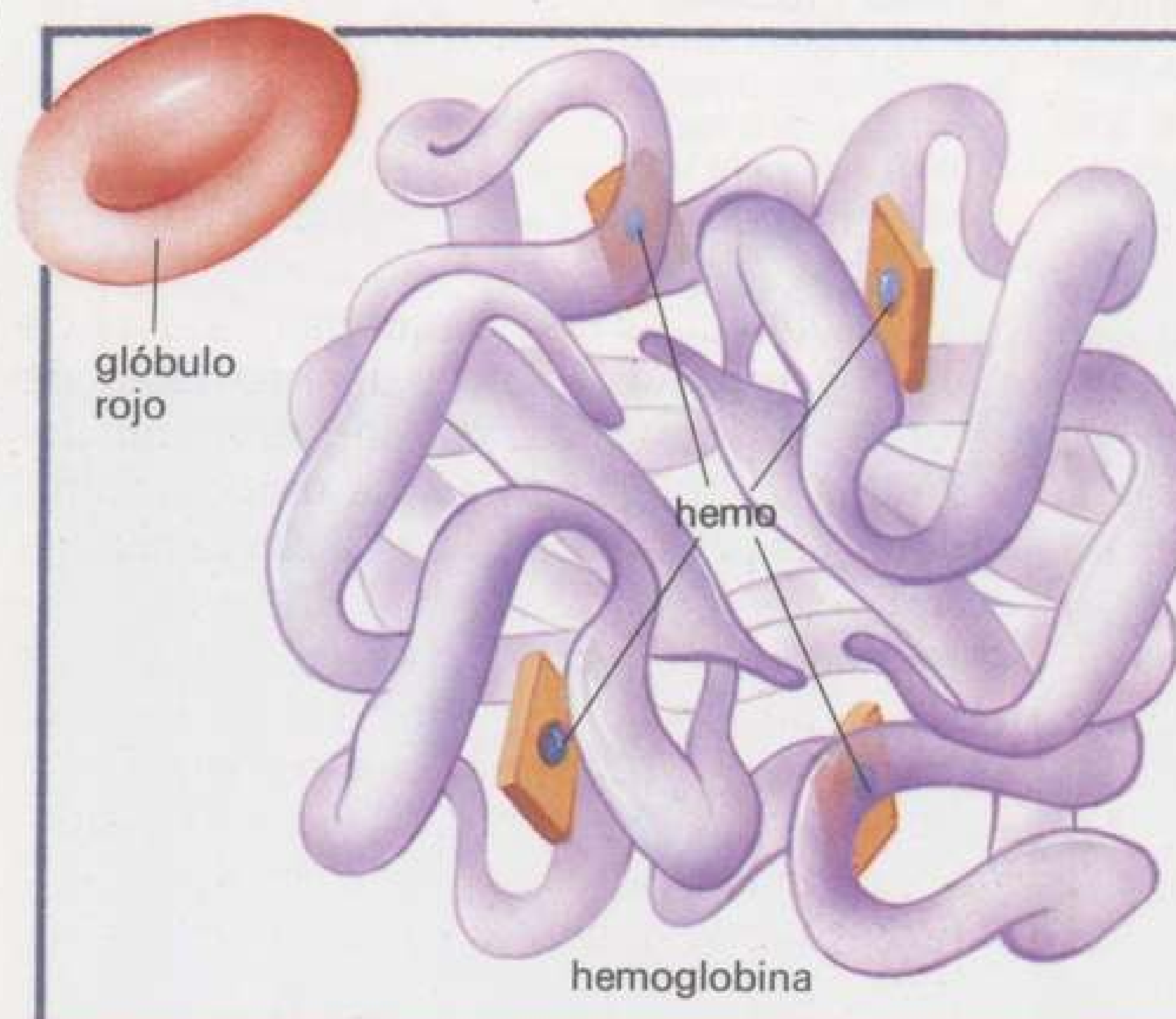
unas proteínas —denominadas *aglutinógenos*— que impiden que la sangre de unas personas pueda mezclarse con la de otras. A su vez, el plasma transporta unos anticuerpos —llamados *aglutininas*— que pueden reaccionar con los aglutinógenos de los glóbulos rojos de otras personas, originando su destrucción. Cuando las aglutininas plasmáticas de una persona no reaccionan con los aglutinógenos de los hematíes de otra persona, se dice que las sangres son compatibles y la transfusión es posible.

Fue Karl Landsteiner quien, en 1900, descubrió estos fenómenos y describió los grupos sanguíneos más importantes, que hoy se conocen como A, B, AB, y 0. Estas denominaciones tienen su origen en el aglutinógeno presente en la membrana del hematíe, que puede ser el aglutinógeno A (grupo A), el B (grupo B), ambos (grupo AB) o ninguno (grupo 0). Como es lógico, las aglutininas del plasma de una persona no reaccionan con los aglutinógenos de los hematíes de esa misma persona, salvo en ciertas enfermedades.

Hoy en día conocemos otros muchos sistemas de grupos sanguíneos, como el Rh, el Lewis, el I, etcétera.

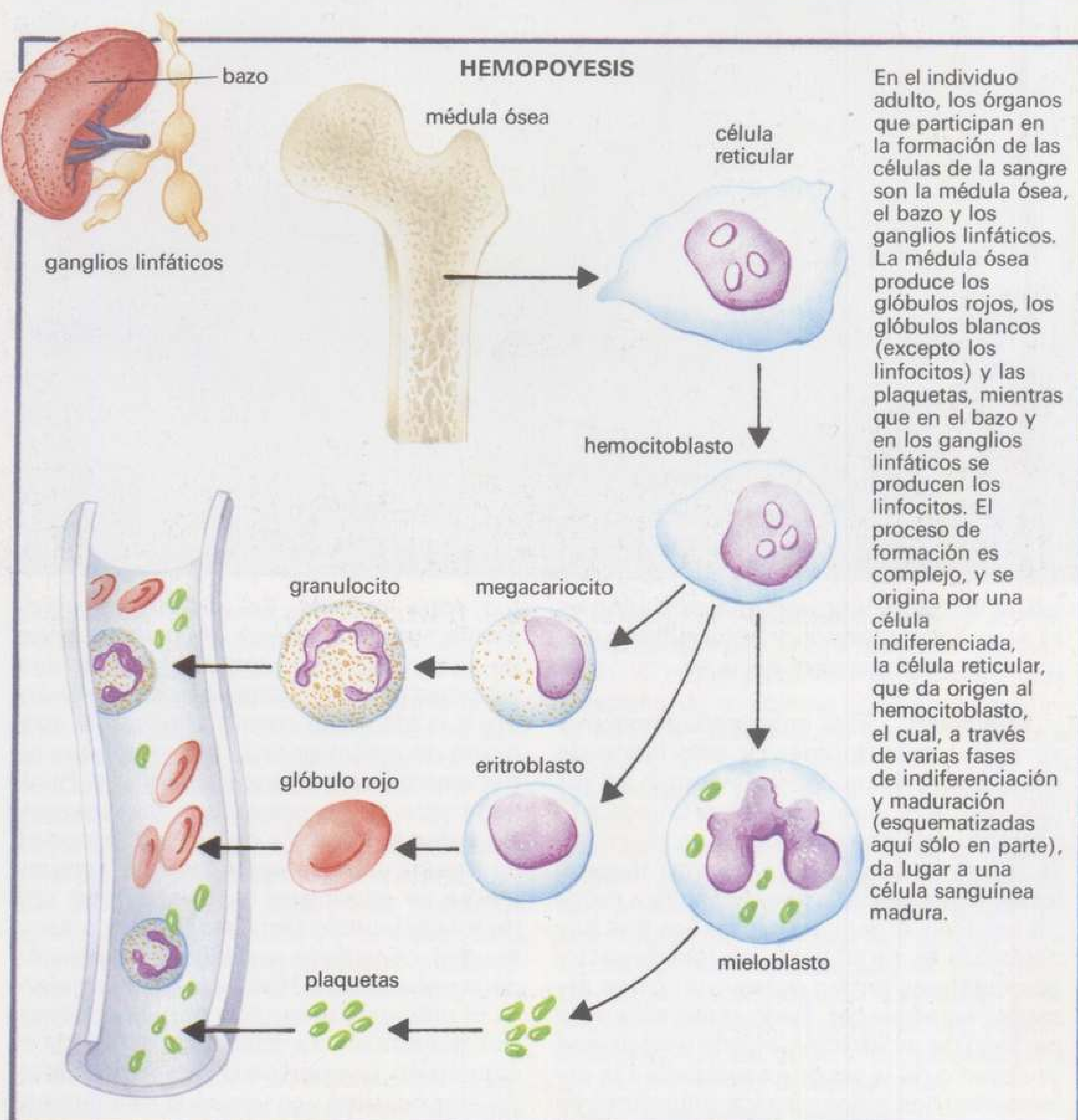
Véase **Presión arterial; Rh, factor; Transfusión sanguínea**





El glóbulo rojo está constituido por una membrana que contiene una proteína de color rojo denominada hemoglobina. Es una proteína formada por una parte filamentosa, la *globina*, y por cuatro unidades que contienen hierro, llamadas *hemo*, a cuya estructura química se debe la capacidad para fijar el oxígeno. Este, desde los pulmones, pasa a la sangre. La hemoglobina, una vez cargada de oxígeno, se convierte en oxihemoglobina que, a través del flujo arterial, llega a las células de los tejidos, donde cede el oxígeno y se transforma en hemoglobina reducida. En los tejidos, la hemoglobina reducida capta el dióxido de carbono, convirtiéndose en carbohemoglobina que, mediante el flujo venoso, regresa al corazón y después a los pulmones para liberarse del dióxido de carbono y volver a captar el oxígeno.

La sangre es un tejido formado por una parte líquida, el plasma, y por una parte corpuscular o celular, que comprende los glóbulos rojos (hematíes), los glóbulos blancos (leucocitos) y las plaquetas (trombocitos). Junto a estas líneas puede verse la representación de un vaso sanguíneo con los elementos de la sangre. Los glóbulos rojos son células altamente especializadas para el transporte del oxígeno a los diversos tejidos del organismo. Los glóbulos blancos son células de distintos tipos que intervienen en los procesos de defensa, saliendo de los vasos sanguíneos y envolviendo y destruyendo los elementos extraños y nocivos (esquema superior izquierdo). Las plaquetas, en cambio, son elementos que desempeñan un papel de primerísimo orden en el proceso de coagulación de la sangre, puesto que acuden rápidamente allí donde hay una lesión vascular e impiden la pérdida de ésta por hemorragia (esquema superior derecho).

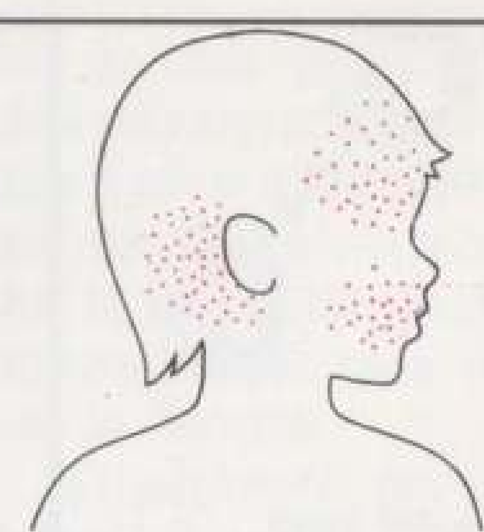


En el individuo adulto, los órganos que participan en la formación de las células de la sangre son la médula ósea, el bazo y los ganglios linfáticos. La médula ósea produce los glóbulos rojos, los glóbulos blancos (excepto los linfocitos) y las plaquetas, mientras que en el bazo y en los ganglios linfáticos se producen los linfocitos. El proceso de formación es complejo, y se origina por una célula indiferenciada, la célula reticular, que da origen al hemocitoblasto, el cual, a través de varias fases de indiferenciación y maduración (esquematizadas aquí sólo en parte), da lugar a una célula sanguínea madura.

Sarampión

El sarampión es tal vez la más conocida de un grupo de enfermedades frecuentes en la edad infantil conocidas con el nombre de exantemáticas. A este grupo pertenecen también la rubeola y la roseola infantil. Se trata de una serie de enfermedades, de curso generalmente benigno, que tienen en común la formación de unas manifestaciones cutáneas muy llamativas (*exantema*), a veces acompañadas de lesiones en las mucosas (*enantema*), aunque suelen estar causadas por diferentes tipos de virus.

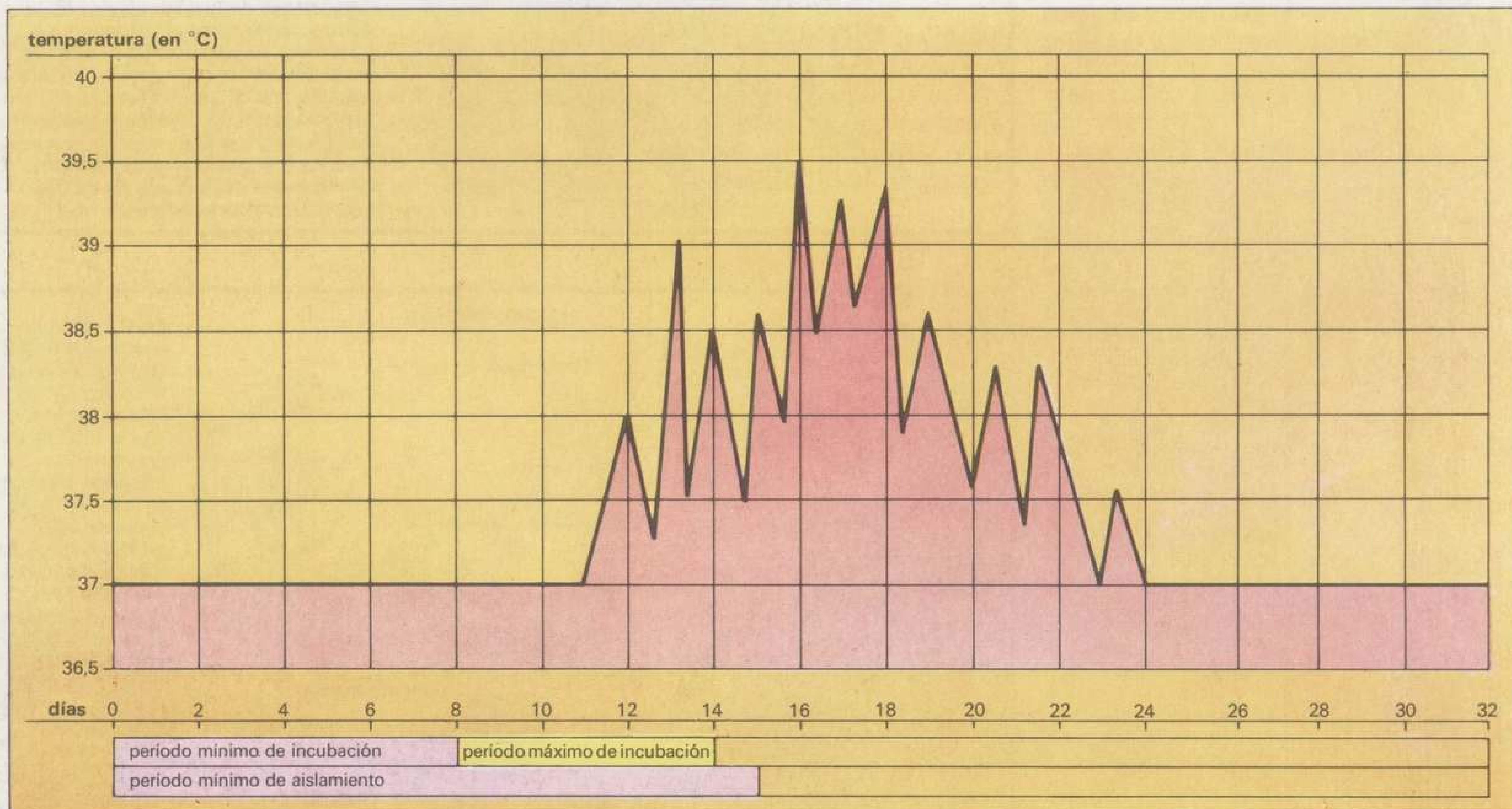
La evolución natural de estas enfermedades incluye un período de *incubación*, que suele durar unos días, en el que el virus se disemina por el organismo; un período *sintomático*, en el que aparecen los signos y síntomas propios de cada trastorno, y un período de *convalecencia*, o de recuperación. Los diversos tipos de lesiones cutáneas, así como otros síntomas que las acompañan, como tos, fiebre, catarro, etc., permiten al médico distinguir estas enfermedades, para ninguna de las cuales existe un tratamiento específico, si bien en el caso del sarampión y la rubeola se dispone de vacunas muy eficaces.





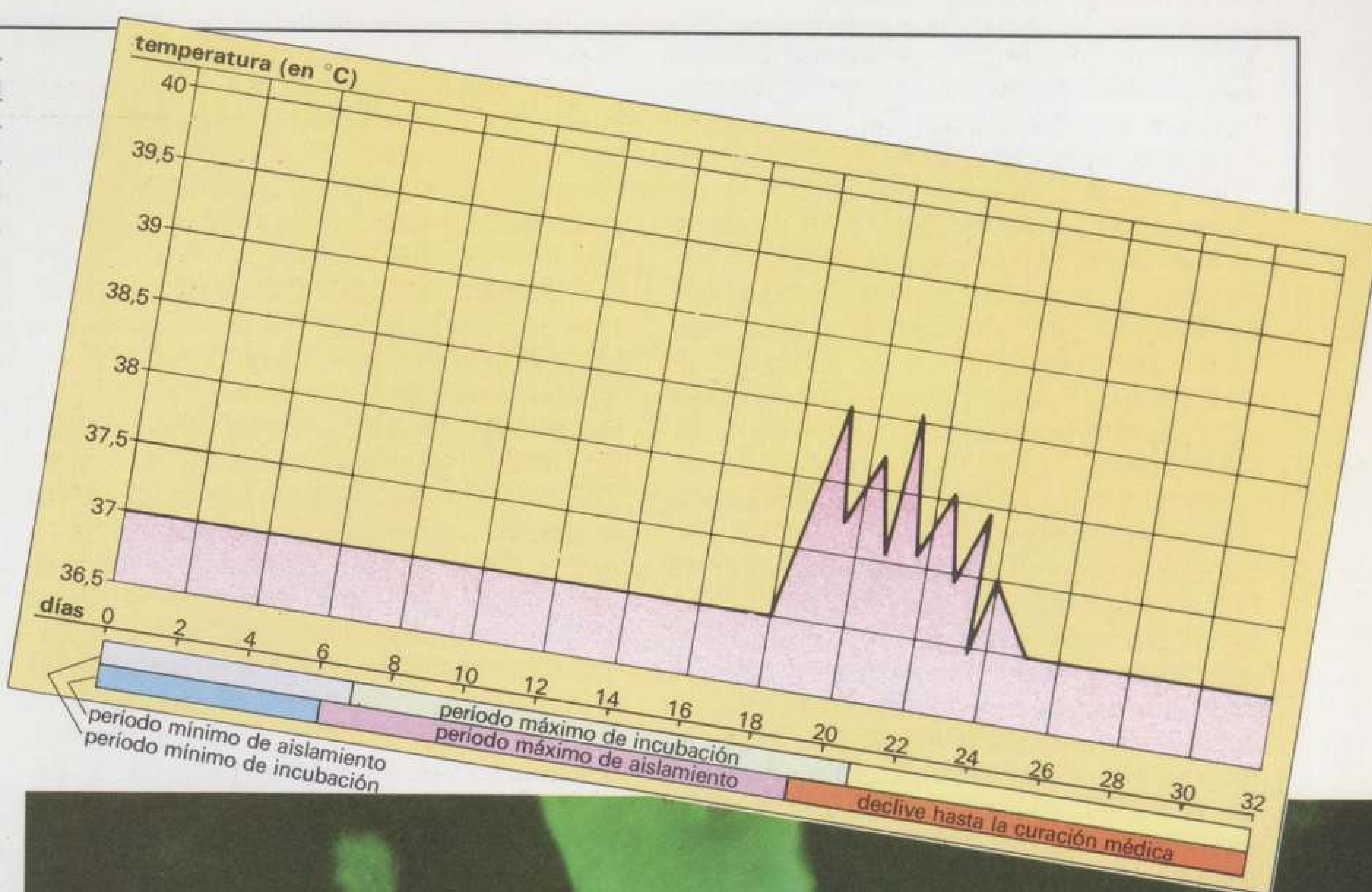
El sarampión es una enfermedad contagiosa de origen viral. Sus manifestaciones cutáneas están constituidas por un exantema que comienza en la zona anterior y posterior de las orejas (arriba) y se difunde después rápidamente a todo el organismo (a la derecha) en forma de pequeñas manchas de color rosa que adquieren un leve relieve. A los pocos días, las manchas desaparecen sin dejar ninguna lesión.

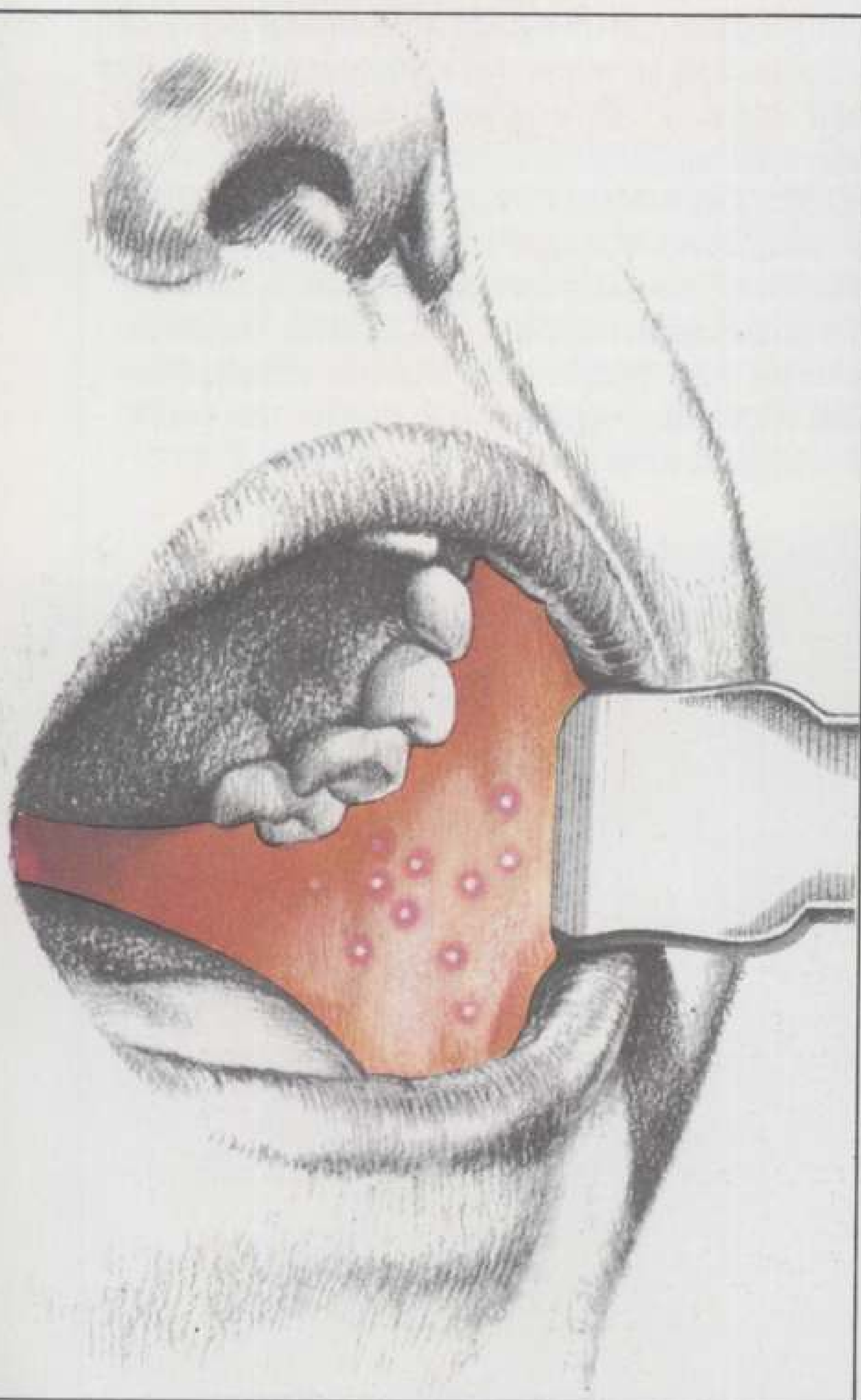




Sarampión Esta enfermedad constituye el tipo más duradero y más fuerte de exantema y es mucho más común en los niños entre cinco y doce años de edad. El trastorno está provocado por un virus que se transmite a través de las vías respiratorias y que posteriormente afecta a todos los tejidos y órganos. En los niños que han contraído el sarampión, las manifestaciones cutáneas tardan entre una y tres semanas en aparecer. Dado que existe este período de incubación, puede ocurrir que, por medio de la tos que acompaña a la enfermedad, los niños puedan difundir el virus entre quienes les rodean, especialmente sus compañeros de colegio, antes de haber sido siquiera diagnosticado. Los síntomas más evidentes, además de la fiebre y la tos, están constituidos por la aparición de manchas en la piel y por una hipersensibilidad de los ojos a la luz. Habitualmente no se prescriben medicamentos como tratamiento de esta enfermedad. La vacuna antisarampionosa, que generalmente se administra hacia el primer año de edad del niño (en España a los quince meses), constituye una eficaz prevención de la enfermedad. Hasta esa edad, en efecto, el niño está protegido por los anticuerpos maternos y es difícil que contraiga el sarampión. Las personas que han padecido el sarampión una vez, muy difícilmente pueden volver a sufrir esta enfermedad, aunque sí pueden transmitir el virus a otros. Una de cada quince personas que padecen el sarampión está sujeta a la aparición de complicaciones. Entre éstas merecen ser destacadas, por su frecuencia, la bronconeumonía, la encefalitis y la otitis media. La bronconeumonía puede estar causada por el propio virus del sarampión, pero también puede deberse a bacterias, como el neumococo o el estreptococo, y en este último caso debe tratarse con antibióticos. La encefalitis es la complicación más grave y, con frecuencia, se caracteriza por la aparición de una notable elevación de la temperatura y de convulsiones. La otitis media debe tratarse con prontitud para evitar la extensión del proceso infeccioso.

Rubeola Para la mayoría de las personas, la rubeola no es una enfermedad grave. Se trata de una infección vírica, parecida al sarampión, que posee un período de incubación de aproximadamente dieciséis días; la enfermedad en sí se prolonga durante unos tres o cuatro días más. Entre sus síntomas se encuentran la producción abundante de moco nasal, fiebre y la aparición de pequeñas manchas de color rosado que surgen entre un día y dos después de los otros síntomas y que desaparecen en dos o tres días. Por otro lado, los ganglios linfáticos que existen detrás de las orejas y en la zona posterior del cuello presentan una hinchazón típica. En los adultos, muy a menudo se producen síntomas de tipo artrítico, que, sin embargo, suelen desaparecer rápidamente sin provocar complicaciones.







En la página anterior, en el centro, curva de evolución de la fiebre en el sarampión y la duración de los períodos mínimo y máximo de incubación y del período mínimo de aislamiento. Arriba, las manchas de Köplik, síntoma precoz y típico del sarampión.

A su derecha, células infectadas por el virus del sarampión observadas con el microscopio de fluorescencia. En la parte superior, curva de la evolución típica de la fiebre en la rubeola y períodos de incubación y de aislamiento.

Cuando una persona contrae la rubeola, es muy importante que las mujeres gestantes o supuestamente embarazadas con las que mantenga contacto directo sean advertidas. Contraída durante los tres primeros meses de la gestación, la rubeola puede provocar en el niño graves malformaciones cardíacas, cataratas congénitas o sordera permanente. En consecuencia, una mujer que decida ser madre debe informarse acerca de si ha padecido esta enfermedad y, en caso negativo, vacunarse. En muchos países se suele recomendar a las mujeres que han contraído la rubeola durante los tres primeros meses del embarazo que tomen en consideración la eventualidad del aborto terapéutico. La aplicación de la vacuna, que fue descubierta en 1968, no se practica a gran escala. En España, se recomienda la vacunación a los quince meses, y una segunda aplicación a las niñas en torno a los once años.

Roseola infantil Se trata de una enfermedad exantemática menos conocida que el sarampión y la rubeola. Primero, el niño experimenta una fiebre muy alta (de hasta 41 °C), que persiste tres o cuatro días. Después, un exantema ligerísimo recubre el cuerpo: puede durar incluso sólo una noche y no ser ni siquiera percibido por los padres, o bien persistir durante unas cuarenta y ocho horas. La única complicación que, en ocasiones, origina la roseola infantil la constituyen las convulsiones, que pueden provocar en el recién nacido una fiebre muy elevada. Por ello, se hace necesaria la administración de aspirina o de otros medicamentos similares, y se aconseja enjuagar al niño con una esponja empapada en agua o en alcohol para hacer descender la temperatura.

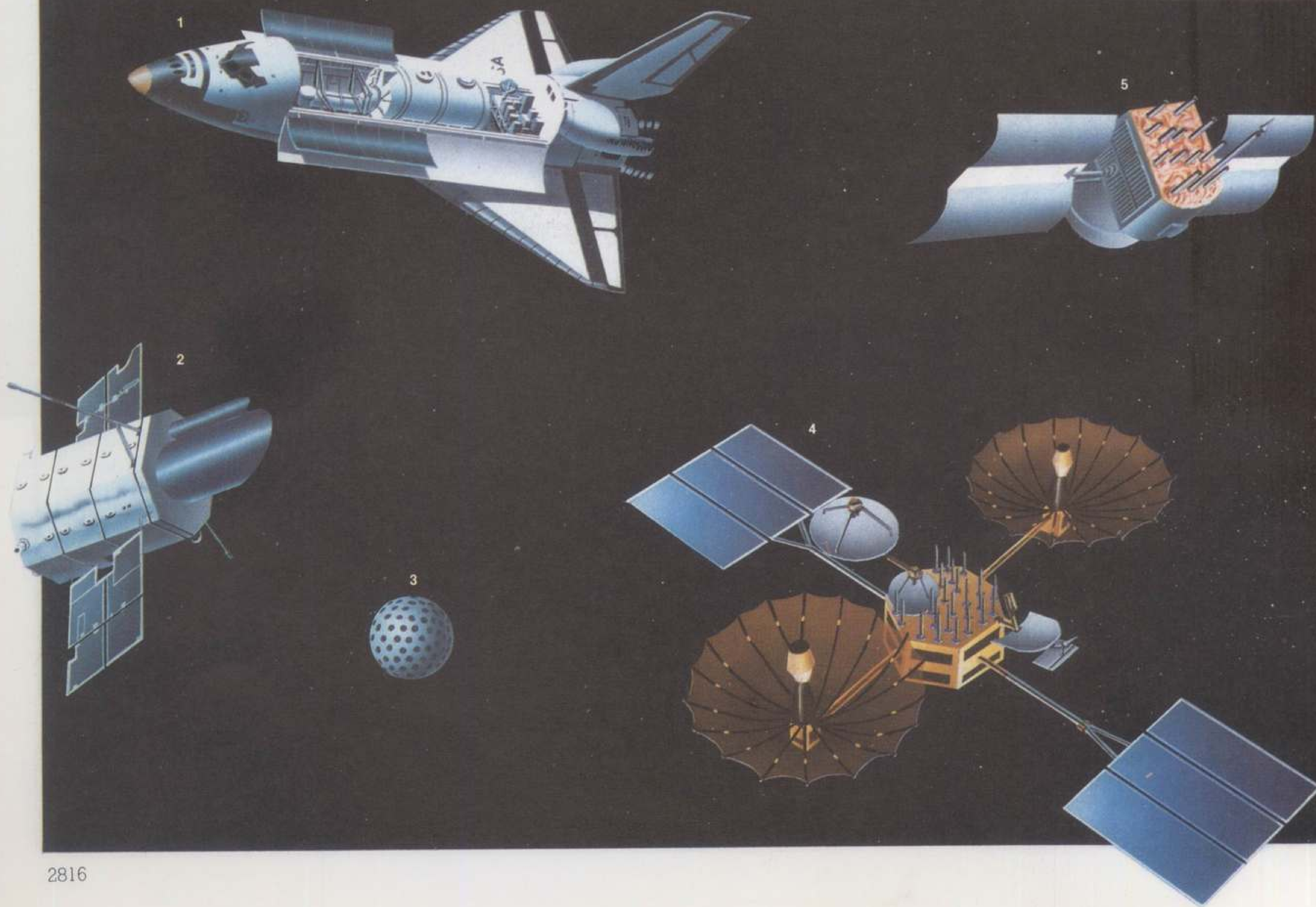
Véase **Enfermedades infecciosas**

Satélite artificial

En 1945, el científico y escritor de ciencia-ficción inglés, Arthur C. Clarke, propuso una idea que pareció, en aquel tiempo, demasiado atrevida. Clarke sugería la puesta en órbita de un satélite artificial que sirviese como repetidor de ondas de radio en el espacio. Este satélite, afirmaba Clarke, habría eliminado la principal limitación de los repetidores de microondas existentes, que consistía en el hecho de que, para la mayor parte de las frecuencias, las microondas siguen una trayectoria rectilínea en lugar de seguir la curvatura de la Tierra. Esto implicaba la necesidad de disponer de una red de repetidores, situados a poca distancia (a unos 50 km) y en posiciones elevadas, para recibir las frecuencias de radio y retransmitirlas según la dirección correcta. Otro inconveniente de este complicado sistema de telecomunicación era que sólo se podía operar cuando existía continuidad en los apoyos-repetidores de Tierra. Sin embargo, un satélite, como sugería Clarke, situado a 16.000 km, o más, por encima de la superficie terrestre, habría podido transmitir las señales a distancias mucho mayores de las permitidas por las instalaciones en Tierra, y, sobre todo, habría posibilitado que las señales radiofónicas cruzasen, sin dificultad, los mares y océanos. Mucho mayor asombro causó, doce años después del "sueño" de Clarke, el lanzamiento, el 4 de octubre de 1957, del primer satélite artificial, el *Sputnik* soviético, que inició la era de la carrera espacial. El *Sputnik* era relativamente simple y pequeño, pero pronto le siguieron otros satélites más grandes y complejos, capaces de realizar una gran variedad de tareas. Debido también al simultáneo progreso en otros campos científicos, los satélites se han convertido en un componente fundamental tanto para los modernos sistemas de telecomunicación como para las nuevas estrategias militares, trabajos de cartografía o detección de recursos naturales aún por explotar. Constituyen, además, el instrumento fundamental para los transportes marítimos y aeronáuticos, suministran gran variedad de datos fundamentales para la meteorología, son empleados para la obtención de datos relativos a la superficie terrestre en el campo del desarrollo y gestión de los recursos naturales, han sido utilizados para el estudio del espacio y para la investigación astronómica y han adquirido una notabilísima función en la estructura militar como instrumentos de detección, observación y alerta.

Orbitas de los satélites Todos los satélites son puestos en órbita, con modalidades básicamente análogas, mediante cohetes de varias *etapas*, los cuales se separan del cuerpo principal a medida que agotan el combustible que contienen. Cuando el satélite alcanza una cota de unos 320 km, prácticamente desaparece el efecto de frenado debido a la atmósfera terrestre y su movimiento comienza a regirse por las mismas leyes que gobiernan las órbitas de los satélites naturales. La órbita de un satélite artificial puede ser sincrónica, geoestacionaria, geosincrónica o polar, según su periodicidad y trayectoria.

El tiempo necesario para que un satélite recorra una órbita completa alrededor de la Tierra, depende, obviamente, de la altura de dicha órbita. Así, un satélite en una órbita situada inmediatamente por encima de la atmósfera terrestre (a unos 320 km), tarda en recorrerla totalmente unos 90 minutos, mientras que a la cota de 35.888 km emplearía aproximadamente 24 horas. Esta órbita se dice que es sincrónica. Si el satélite se mueve en el mismo sentido de rotación de la Tierra, de oeste a este, y su órbita está situada en el plano del Ecuador, aparecerá como un punto perfectamente inmóvil en el cielo. Esta ór-



bita se llama geoestacionaria, y su interés consiste en el hecho de que el satélite se encuentra constantemente sobre la misma región de la superficie terrestre y, por lo tanto, no es necesario disponer en Tierra de antenas orientables para seguir su posición y recibir las posibles ondas radiofónicas o señales de televisión. Entre 1963 y 1979, más de un millar de satélites para telecomunicaciones, para investigaciones científicas, meteorológicas y militares fueron situados en una órbita geoestacionaria. A principios de los años ochenta, sólo el 1,8% de estos satélites permanecía en servicio; el resto, aunque sin utilidad rentable, continuaba desplazándose en sus órbitas. Puesto que este tipo de órbita particularmente útil no puede contener más de un cierto número de satélites, en los ambientes internacionales se está valorando la necesidad de regular equitativamente su utilización.

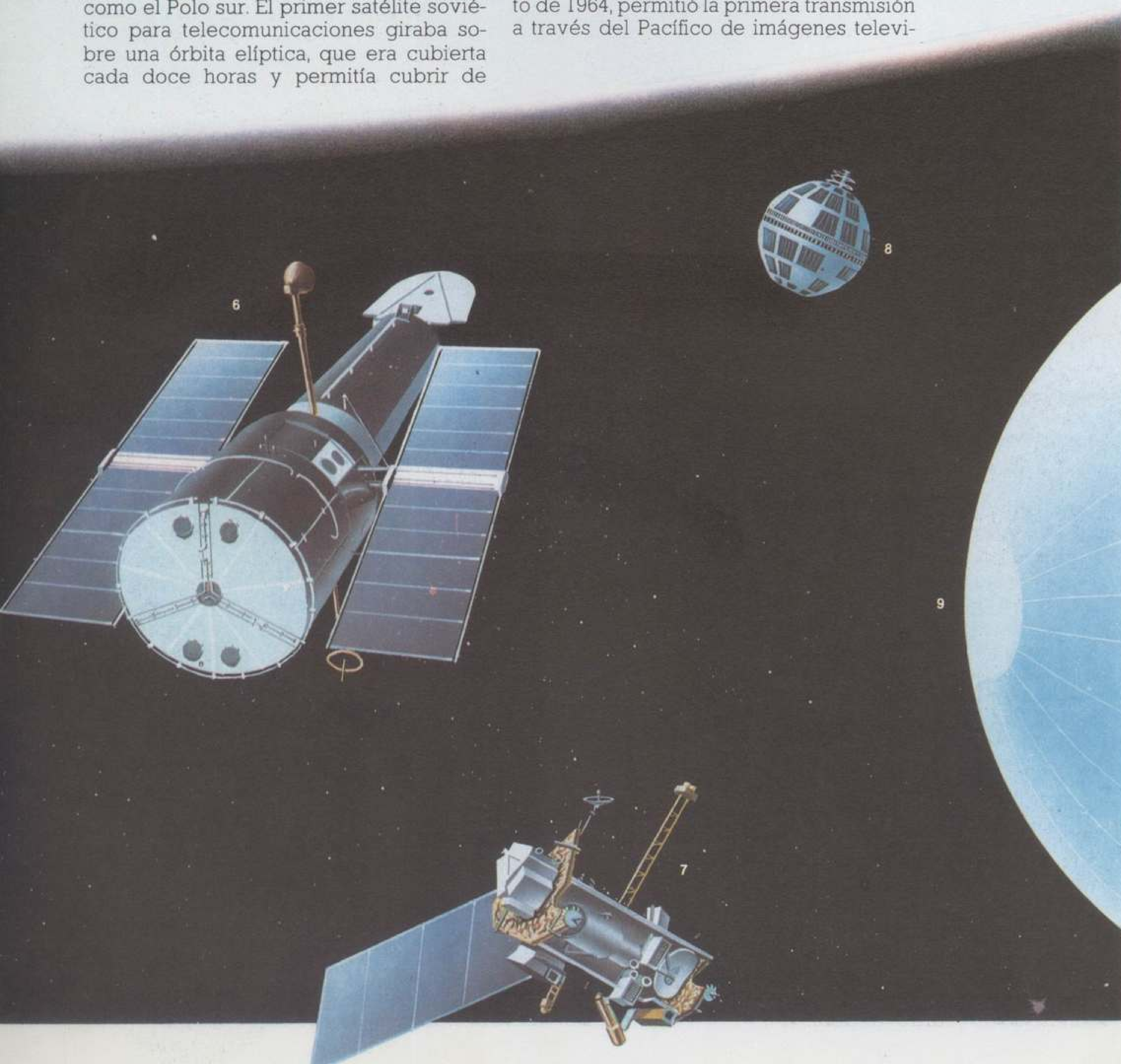
La órbita geoestacionaria pertenece al grupo de las órbitas geosincrónicas. Los satélites con órbita geosincrónica sobrevuelan un punto del Ecuador una o dos veces a lo largo de las veinticuatro horas del día. Los de órbita polar se sitúan en planos que contienen tanto el Polo norte como el Polo sur. El primer satélite soviético para telecomunicaciones giraba sobre una órbita elíptica, que era cubierta cada doce horas y permitía cubrir de modo eficaz las latitudes elevadas. Los actuales satélites para observación recorren órbitas circulares casi polares, sincrónicas con el Sol (heliosincrónicas) y que permiten sobrevolar el mismo punto de la superficie a la misma hora, a fin de conseguir que las imágenes que facilitan tengan la misma iluminación y sean contrastables.

Satélites para telecomunicaciones Los primeros satélites para telecomunicaciones eran de tipo pasivo y su función consistía en recibir y retransmitir las señales de radio, de forma análoga a los repetidores terrestres. El *Score*, pionero de los satélites de telecomunicaciones, fue lanzado el 18 de diciembre de 1958 y permaneció en órbita únicamente durante doce días. El *Telstar I*, lanzado el 12 de julio de 1962 por la American Telephone and Telegraph Company, fue el primer satélite para telecomunicaciones de tipo activo, capaz de transmitir comunicaciones telefónicas, imágenes de televisión y señales de telefoto. El *Syncom I*, lanzado por la NASA el 26 de julio de 1963, fue el primer satélite para telecomunicaciones con órbita sincrónica, mientras que el satélite *Syncom II*, puesto en órbita el 19 de agosto de 1964, permitió la primera transmisión a través del Pacífico de imágenes televisivas con ocasión de los Juegos Olímpicos, celebrados aquel año en Japón.

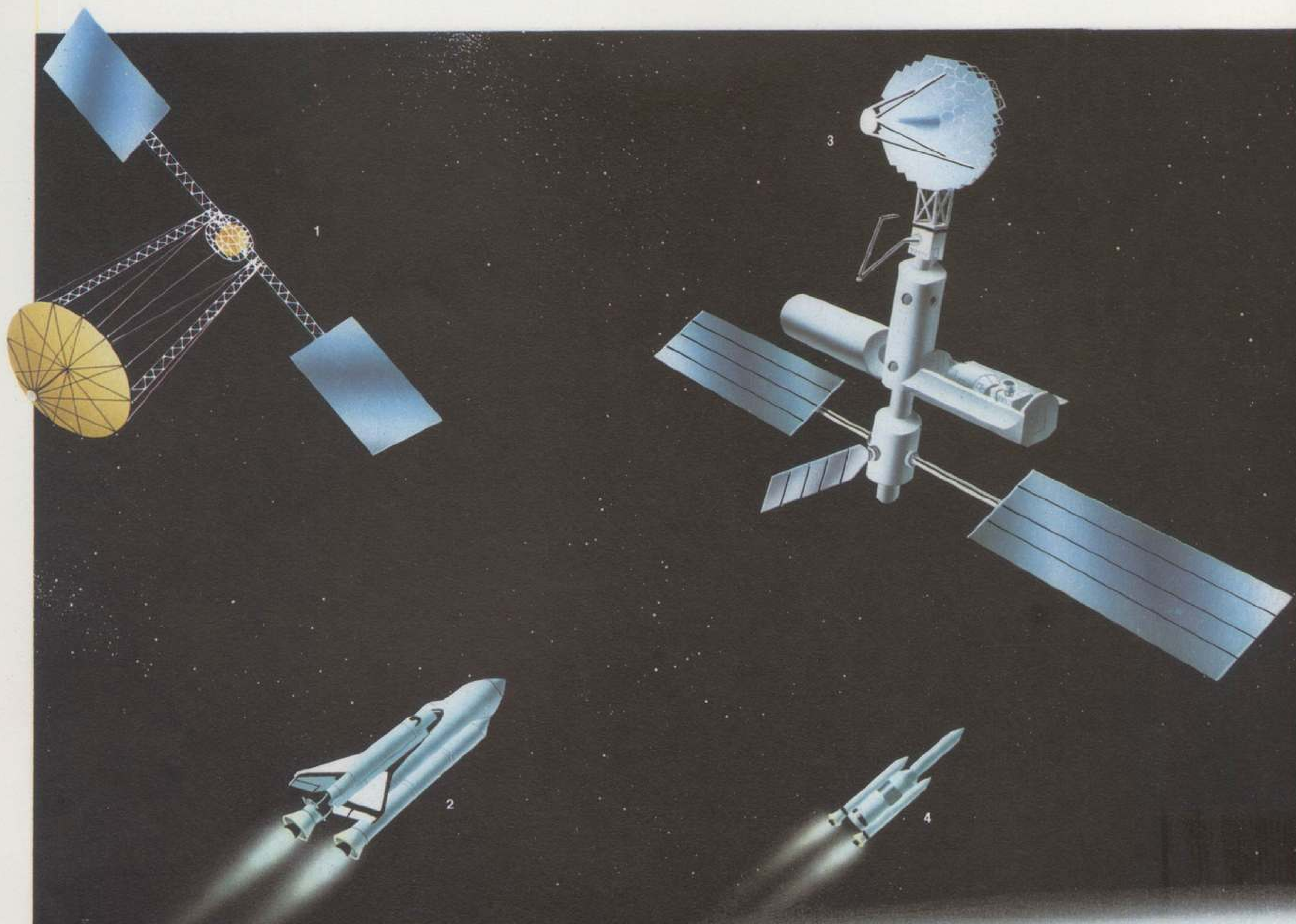
El primer satélite soviético para telecomunicaciones, el *Molniya 1A*, fue lanzado en abril de 1965 y era capaz de transmitir señales de TV, tanto en blanco y negro como en color, de audio, telegráficas y para facsímil.

Algunos satélites, tales como los *Molniya* y *Gorizant*, han constituido el enlace de las comunicaciones internacionales a través de la red *Intersputnik*, que se puso en marcha en 1971 y que actualmente cuenta con doce componentes, además de dos satélites *Statsionar* en órbita geoestacionaria. La red *Intersputnik* es empleada por los países de Europa oriental para el intercambio de programas televisivos y para sus enlaces telefónicos y telegráficos internacionales.

El *Intelsat*, el primer servicio de satélites para telecomunicaciones de tipo comercial, fundado por once países y del que actualmente forman parte más de cien, lanzó su primer satélite, el *Intelsat I*, en 1965. Actualmente el servicio Intelsat cuenta con 13 satélites orbitantes que son



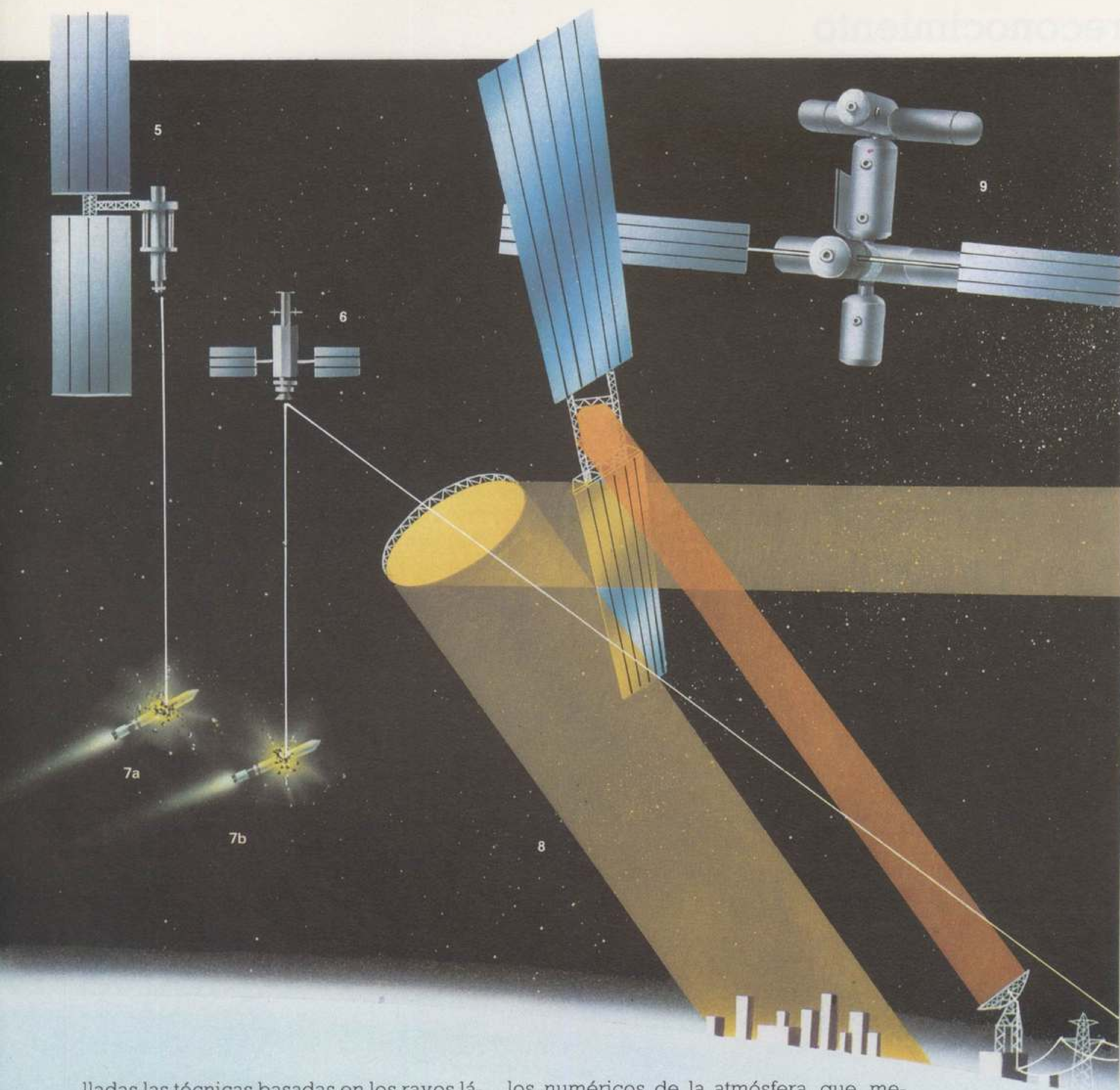
Algunos satélites de la historia reciente y actual de la conquista del espacio: 1) el célebre transbordador espacial en vuelo orbital; 2) observatorio astronómico orbital de 1968; 3) *LAGEOS*, lanzado en 1976, ha trazado la posición y el movimiento de las placas tectónicas de la corteza terrestre; 4) satélite *TDRS*, que servirá como enlace entre otros satélites y las estaciones terrestres de escucha; 5) uno de los 18 satélites que serán distribuidos alrededor de toda la superficie terrestre para permitir a todos los barcos, y en particular a los militares, conocer con extrema precisión su posición; 6) observatorio espacial que será lanzado en un plazo no muy largo y cuyo espejo de 2,4 metros permitirá realizar observaciones astronómicas con un elevado poder de resolución, imposible de obtener desde la Tierra; 7) satélite para la exploración de las capas superiores de la atmósfera; será lanzado en 1989; 8) *Telstar I*, lanzado en 1962 y dedicado a los primeros sistemas de reenvío de transmisiones de radio; 9) *Echo*, un gigantesco globo lleno de gas a muy baja presión, que servirá como deflector de luz.



utilizados por 240 estaciones distribuidas por toda la superficie del planeta. El número de canales permanentemente destinados a las comunicaciones telefónicas ha pasado de 75 a más de 20.000. Los progresos en las tecnologías espaciales, en el campo de los ordenadores y en los sistemas de telecomunicación han producido, en el curso de los años, un fenómeno conocido con el nombre de "inversión" tecnológica en la innovación de los sistemas de telecomunicaciones apoyados en satélites, dado que la evolución de los "segmentos espaciales" (satélites) y "terrenos" (instalaciones y antenas receptoras) ha sido dispar. Así, mientras que por un lado se lograba la fabricación y puesta en órbita de satélites de dimensiones, complejidad, costos y duración mucho mayores, con capacidades y potencia de transmisión elevadas, por otro lado se trataba de que las estaciones en Tierra fuesen más pequeñas, simples y económicas. Los progresos en las tecnologías espaciales han reducido también los costos de alquiler para los canales de los satélites de telecomunicaciones, y han hecho que los costos de éstas sean prácticamente independientes de la distancia. Esto ha permitido que muchos países, que no disponen de medios económicos y de capacidad tecnológica suficiente para poner en órbita sus propios satélites, aprovechen parte de las enormes facilidades o posibilidades de un satélite realizado en colaboración con otros países, o alquilen algunos canales en las redes *Intelsat* o *Intersputnik* según sus necesidades particulares. Tal inversión tecnológica ha permitido también la transmisión directa desde satélites, que es de particular importancia, además de para la multitud de canales televisivos en países avanzados, como los de Europa occidental, para las naciones interesadas en la difusión de programas televisivos en áreas rurales de gran extensión y donde las comunicaciones terrestres son difíciles de instrumentar y desarrollar. De hecho, desde el momento en que actualmente es posible disponer de una gran antena orbitable y de pequeñas y económicas antenas en Tierra, también los núcleos rurales más deprimidos pueden participar, beneficiándose de este sistema de telecomunicaciones. Aunque la transmisión desde el satélite sea operativa, actualmente sólo la Unión Soviética, Canadá, Japón, Estados Unidos, República Federal Alemana y Francia disponen de sistemas para el desarrollo operativo de este tipo de comunicaciones. La estación experimental estadounidense ATS-6, por ejemplo, lanzada en 1974, ha sido a menudo empleada para experimentos de transmisión directa.

Los satélites para geodesia y para navegación La determinación de la posición, que es de fundamental importancia en la navegación y la geodesia (estudio de la forma y de las dimensiones de la Tierra, así como de la determinación de la geometría de la superficie terrestre), se ha visto claramente favorecida por el desarrollo de los satélites. De hecho, una vez que se conoce la posición de un satélite, es posible determinar con precisión la posición de un observador cualquiera en Tierra.

Las primeras técnicas de seguimiento consistían en la toma fotográfica de la trayectoria del satélite sobre el fondo de estrellas, desde distintas estaciones terrestres. Fue mediante este procedimiento como se descubrió la forma "de pera" de nuestro planeta. Después, fueron desarro-



Algunos de los ingenios espaciales que estarán en órbita en las últimas décadas de este siglo: 1) una de las estaciones de grandes dimensiones que serán montadas en órbita con elementos lanzados desde la Tierra. Como todos los sistemas en órbita alrededor de la Tierra, dispondrá de suficiente energía solar como para convertirla en la electricidad que alimente los instrumentos de a bordo; 2) transbordador espacial; 3) estación espacial habitada para la realización de experimentos en el espacio; su tripulación será relevada mediante los transbordadores; dispondrá de grandes fuentes de energía para alimentar todas las actividades de a bordo; 4) en los años noventa será posible poner en órbita transbordadores como el de la imagen, destinados al transporte de materiales: verdaderos montacargas espaciales; 5) láser accionado por energía solar para la destrucción de misiles intercontinentales, incluso en la fase de lanzamiento (7a); 6) satélite dotado de un espejo orientable que permite dirigir un haz láser, generado en Tierra, hacia el blanco (7b); 8) espejo para la iluminación nocturna de ciudades mediante luz solar; 9) estación orbital sincrónica.

lladas las técnicas basadas en los rayos láser, que actualmente permiten determinar la posición de una estación, con un error de uno o dos centímetros.

Con las técnicas de seguimiento automático, la radiotelemetría (técnica de medida de distancias mediante ondas de radio) y los modernos equipos de telecontrol, los satélites permiten mejorar sensiblemente las comunicaciones marítimas.

Algunos sistemas de búsqueda y de socorro actualmente empleados utilizan radiofaros para transmitir las solicitudes de intervención a los satélites orbitantes, que a su vez las retransmiten a las estaciones en tierra, donde las señales son reelaboradas y codificadas.

Satélites meteorológicos Los primeros satélites meteorológicos utilizaban cámaras de tipo televisivo para reproducir los mapas de la distribución nubosa. Con la introducción de las técnicas de exploración y detección controlada a distancia (empleadas tanto por los satélites meteorológicos como por los satélites "espías") fue posible obtener desde los satélites datos sobre las trayectorias de las nubes, muy útiles para la elaboración de modelos numéricos de la atmósfera, que, mediante la utilización de los ordenadores, constituyen la base de las modernas técnicas de previsión meteorológica. Estas técnicas de detección controladas a distancia permiten registrar los parámetros ambientales (temperatura, intensidad de campos magnéticos, humedad, concentración de clorofila, etc.), que son medidos mediante instrumentos de gran sensibilidad, como *scanners* multiespectrales, radares magnetométricos, contadores de centelleo y cámaras de rayos infrarrojos. Los datos conseguidos en sucesivas tomas por los satélites geoestacionarios a intervalos de media hora pueden ser comparados para determinar, por ejemplo, la velocidad de los vientos y la altura de las nubes. Nuevos tipos de sensores pueden, además, detectar otros importantes parámetros atmosféricos, como la distribución de concentración de óxido de carbono, de los clorofluorocarbonos, del ozono y del polvo atmosférico.

En 1982, el sistema de observación de la World Meteorological Organization comprendía satélites meteorológicos geoestacionarios controlados por Estados Unidos (3), Japón (2) y por la Agencia Espacial Europea (2), además de una red de satélites meteorológicos polares, en órbitas sincrónicas con el Sol, gestionada "en colaboración" por Estados Unidos y la Unión Soviética. Dentro de poco tiempo, también la Unión Soviética y la India dispondrán de satélites meteorológicos geoestacionarios que serán capaces de cubrir la zona del océano Indico.

Desarrollos futuros El sistema estadounidense de seguimiento y transmisión de datos vía satélite, puesto en servicio en 1983, está constituido por una red de satélites repetidores que enlazan entre sí los distintos satélites para comunicaciones y los de teledetección, permitiendo de este modo transmitir señales a todo el mundo, sin necesidad de enviar continuamente las señales desde el satélite a Tierra, y viceversa.

Véase **Geodesia; Observatorio espacial; Radiofaro; Satélite de reconocimiento; Satélite destructor; Satélite meteorológico; Transbordador espacial**

Satélite de reconocimiento

El más ambicioso programa de lanzamiento de satélites que está llevando a cabo el Ministerio de Defensa de Estados Unidos tiene como objetivo permitir una vigilancia de las actividades de los otros países mediante satélites de reconocimiento o "satélites espías". Los satélites de reconocimiento constituyen, aproximadamente, la mitad de los vehículos espaciales que son lanzados y puestos en órbita por Estados Unidos, así como unos dos tercios de los lanzados por la Unión Soviética.

¿Para qué espiar? Los satélites de observación, tanto de Estados Unidos como de la Unión Soviética, cuentan con numerosos objetivos: uno de ellos consiste en mantener una continua vigilancia sobre los sistemas ofensivos y de defensa recíprocos. Durante la época anterior a la ratificación del tratado contra los experimentos nucleares, los satélites fueron utilizados para obtener informaciones sobre la realización de posibles operaciones nucleares. Otro objetivo fundamental es el de interceptar inmediatamente cualquier movimiento de tropas o de armamentos en las supuestas zonas de conflicto, como ocurrió en la guerra Jom Kippur en Oriente Medio, en 1973, o en la batalla de las islas Malvinas, frente a la costa argentina, durante la guerra del mismo nombre, en 1982. Son también capaces de suministrar órdenes inmediatas de ataque a misiles o aviones. Pero probablemente el objetivo diario más común de los satélites de reconocimiento es la simple observación de la actividad alrededor de fábricas, bases militares y avanzadillas fronterizas, así como de las maniobras militares regulares realizadas en tierra o mar; en definitiva, se trata de obtener datos para poder valorar el progreso militar de uno u otro país y prevenir significativos e inesperados avances tecnológicos, así como amenazadores movimientos de tropas.

Ojos en el cielo Existen distintos tipos de satélites de reconocimiento, según sea su función. La mayor parte de los mismos realiza observaciones de la Tierra desde órbitas, comprendidas entre los 110 y 320 km de altura, que pasan sobre los polos y que cubren en pocos días toda la superficie terrestre. Para ello se sirven de sofisticados equipos fotográficos. Algunos observan zonas relativamente amplias, otros realizan observaciones de alta resolución de zonas más reducidas, captando por lo tanto detalles más singulares. Algunos, como los *Big Bird* estadounidenses y muchos de la serie *Cosmos* soviéticos, filman directamente sobre una película que posteriormente se introduce en un contenedor adecuado y se deja caer, mediante

La cota de navegación a la que viaja un satélite de reconocimiento es lo suficientemente elevada como para permitir la exploración de un área de grandes dimensiones. Sin embargo, esto supone un gran alejamiento de los objetos que van a ser vigilados, lo que exige el uso de equipos de gran sensibilidad. Cada satélite se dedica a uno o varios tipos de exploración, mediante instrumentos y métodos distintos. A la derecha se muestra el lanzamiento de un misil intercontinental desde el silo de una base en tierra y que se prepara para un recorrido horizontal hacia el blanco. En condiciones atmosféricas de perfecta visibilidad es suficiente la observación óptica. En caso de neblina es posible controlar y seguir el lanzamiento mediante sensores de infrarrojos. Con el cielo nuboso se utilizan señales de radio o radar. En el caso de una flota naval, la visión óptica de la situación de los buques es importante; pero aún más importante es la escucha de los mensajes por radio entre éstos o con los aviones. Finalmente, el reconocimiento de complejos industriales, carreteras, puentes, diques o ferrocarriles tiene como objetivo esencial el control del desarrollo productivo.

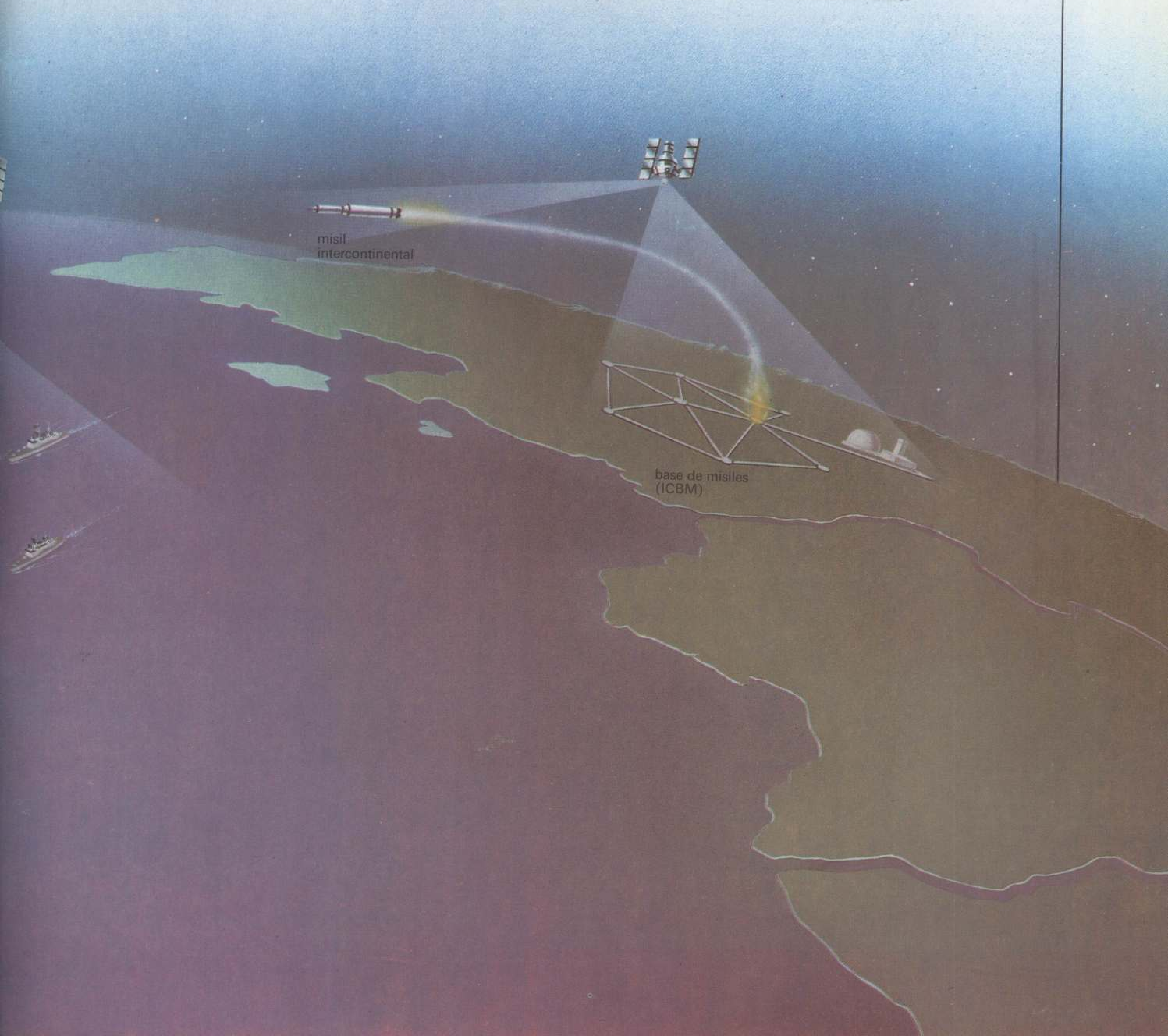


un paracaídas, hasta llegar a la atmósfera terrestre, donde es recogido en el aire con redes remolcadas por aviones, o bien es recuperado en tierra o en pleno mar. Otros satélites, como el *KH-11*, crean imágenes digitales de la Tierra, parecidas a las de televisión, y las transmiten con señales criptográficas, adaptadas mediante radioenlaces, a una antena receptora situada en tierra. Los satélites de reconocimiento son capaces de captar imágenes en el campo de las longitudes de onda del infrarrojo con el fin de detectar el chorro de gases de descarga que podría revelar el lanzamiento de misiles enemigos. Los satélites con radar, que emiten impulsos de radio en microondas y reciben su retorno como un eco, son capaces de interceptar los movimientos de los buques en el mar y de los vehículos acorazados en tierra, aunque estén escondidos bajo espesas capas de nubes.

Escuchar desde la órbita Otro tipo de satélite de reconocimiento es el que descubre y registra transmisiones por radio y radar mientras se encuentra sobre territorio extranjero. A partir de tales transmisiones es posible localizar los aviones enemigos y descubrir los sistemas de radar para la defensa antimisil, lo que permite deducir muchas informaciones respecto a su eficacia y a sus características. Con los satélites espías también es posible interceptar las comunicaciones militares y privadas, así como las que se efectúan desde un barco. Se ha llegado a decir que estos satélites son capaces incluso de intervenir las comunicaciones telefónicas.

Aplicaciones civiles El reconocimiento mediante satélite ha dejado de ser una actividad eminentemente militar desde el lanzamiento, a primeros de 1986, del satélite francés *SPOT*. Este pretende suministrar informaciones que sean de utilidad para las instituciones y empresas civiles, y, aunque presenta algunas características y parámetros que mejoran o modifican los de satélites anteriores, se basa en las mismas reglas de funcionamiento y teledetección. Sus equivalentes estadounidenses son los satélites de la serie *Landsat*. Análogamente, el período de orbitación es menor (3 días en lugar de 18), lo que permite obtener tomas oblicuas que dan mayor precisión y relieve a las informaciones suministradas. El grado de resolución sigue siendo todavía bajo y habrá que esperar al lanzamiento de un satélite militar (el *Helios*) para poder disponer de informaciones de mayor precisión.

Véase **Satélite artificial; Tecnología orbital; Telecomunicaciones militares**



Satélite destructor

El espacio se ha convertido en "el nuevo territorio de conquista" por parte de las grandes superpotencias. El desarrollo de una industria armamentista espacial, altamente sofisticada, ha convertido el espacio en un objetivo estratégico de primer orden, asentándose así la premisa de que aquel que lo controle adquirirá un papel predominante en el desarrollo de cualquier conflicto futuro en la Tierra.

Entre las nuevas armas de guerra espaciales, el satélite destructor está proyectado para dañar o destruir un vehículo espacial enemigo en órbita alrededor de la Tierra, así como para interceptar el lanzamiento de misiles estratégicos.

La importancia militar del espacio Actualmente el espacio es un punto de escucha y observación de vital importancia para los mandos militares.

Los satélites militares de comunicación permiten a los estados mayores intercambiar, instantáneamente, informaciones entre dos puntos cualesquiera del globo.

Los satélites meteorológicos pronostican las condiciones del tiempo sobre las posibles zonas de conflicto, mientras que los sensores de rayos infrarrojos, junto con los radares, son capaces de detectar actividades militares incluso a través de una espesa capa de nubes.

Los satélites militares de reconocimiento permiten interceptar las comunicaciones, observar las actividades en las cercanías de fábricas, bases de misiles y aeropuertos, y seguir el desarrollo de maniobras navales y, dentro de poco, submarinas. Todas estas informaciones, muchas de las cuales son recogidas por toda una serie de satélites puestos en órbita por distintos países, son de vital importancia para las potencias que deseen situar eficazmente sus efectivos militares.

Armas antisatélites Los satélites destructores están clasificados como "armas antisatélites", cuya abreviatura es *A-SAT* y están proyectados para destruir vehículos espaciales enemigos.

Un satélite destructor de tipo medio es un vehículo espacial, por lo general de gran tamaño y maniobrabilidad, que describe un movimiento orbital alrededor de la Tierra. Su misión consiste en interceptar y destruir el satélite-blanco, lanzando contra él pequeños misiles que suelen estar equipados con instrumentos sensores de búsqueda y seguimiento de alta precisión. Este tipo de interceptor orbital fue experimentado por la URSS a mediados de los años setenta.

Uno de los más importantes proyectos de EE UU en armas antisatélites de subida rápida es un pequeño misil de ataque de dos etapas, que puede ser montado sobre un caza F-15. El avión, que sirve como plataforma de lanzamiento, alcanza la posición y la cota preestablecidas y lanza el misil. Este, mediante sensores de rayos infrarrojos, es capaz de detectar el calor emitido por el satélite-blanco a cientos de kilómetros de distancia, alcanzarlo y destruirlo.

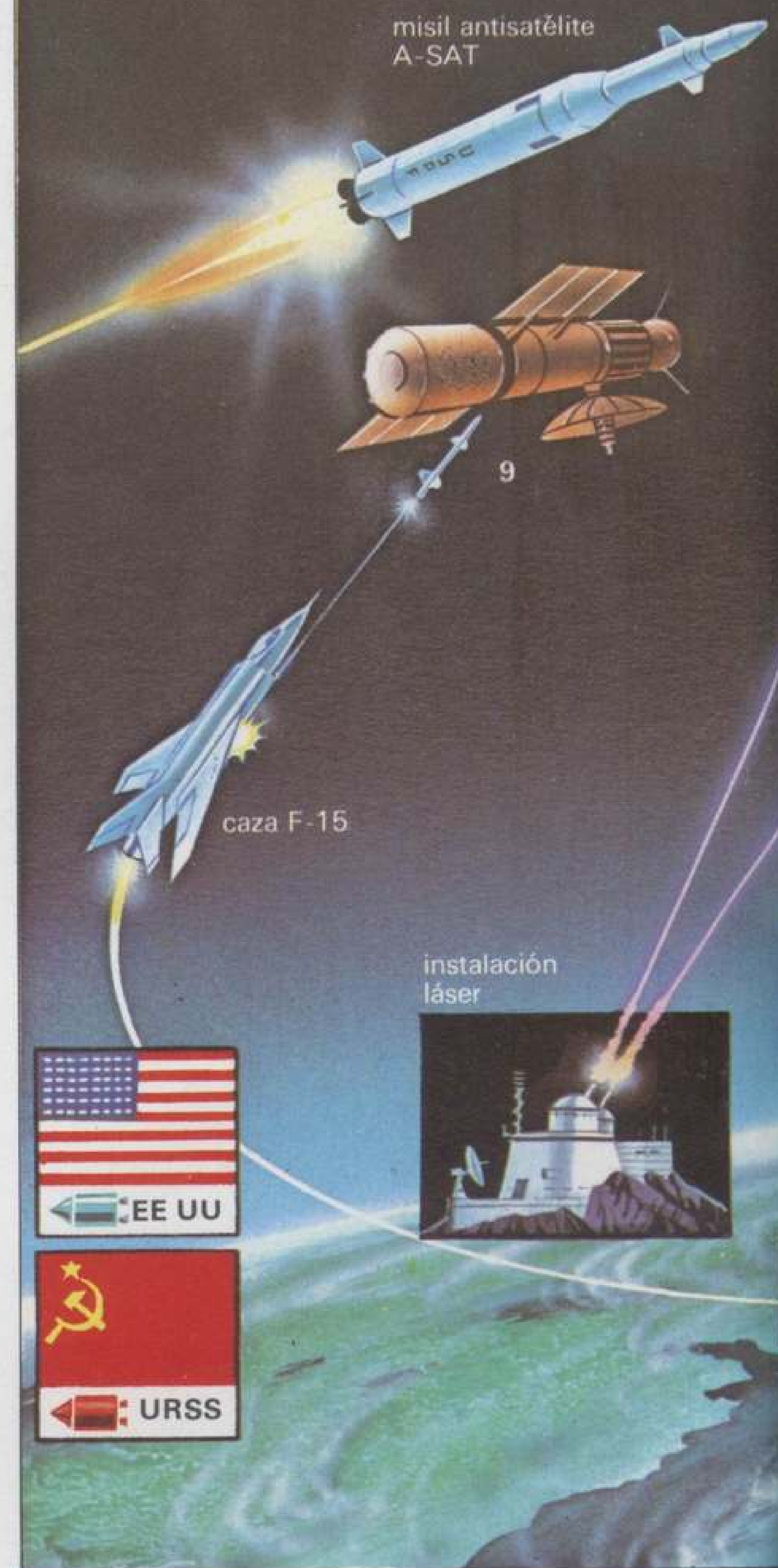
Estaciones espaciales de batalla Los misiles autodirigidos son, por ahora, las primeras armas antisatélites que han sido desarrolladas y se prevé que alcancen un estado de plena operatividad para finales de los años ochenta. Para después de 1990, tanto EE UU como la URSS están estudiando la posibilidad de equipar los satélites destructores con armas láser de alta energía. El láser utilizado puede ser de dos tipos. El primero pertenece a la categoría de los láseres químicos de onda continua que emiten un rayo de luz de alta intensidad, capaz de destruir el blanco por sobrecalentamiento. Esta "máquina bélica" consta esencialmente de dos etapas. En la primera etapa, en una cámara de combustión, flúor y deuterio arden a más de 1.300 °C. En la segunda etapa, los gases producidos salen a velocidad supersónica combinándose con el hidrógeno y formando fluoruro de hidrógeno. En una cavidad, comprendida entre un sistema de espejos, los fotones liberados por el fluoruro de hidrógeno "rebotan" entre un espejo cóncavo y otro convexo, hasta que un espejo de extracción canaliza el haz láser destinado a ser enviado contra el enemigo. El segundo tipo se encuadra en el grupo de los láseres de impulsos, que emiten breves descargas de una potente energía luminosa, capaz de derribar el objetivo con repetidas ondas de choque.

Las superpotencias están experimentando también la posibilidad de equipar los satélites destructores con armas emisoras de haces de partículas. Estas armas son parecidas a un acelerador lineal, que crea haces de partículas subatómicas de alta energía, acelerándolas mediante rápidas variaciones de campos magnéticos. Cuando un rayo es dirigido contra un objetivo, éste es calentado hasta producirse su fusión o colapso. El láser de alta energía y las armas de haces de partículas requieren enormes cantidades de energía y una puesta a punto muy cuidadosa, aunque tienen la gran ventaja de poder destruir, a la velocidad de la luz, satélites situados a miles de kilómetros. Pueden apuntar rápidamente sobre un vehículo muy alejado y destruirlo sin ser interceptados. Por ejemplo, ambas armas son capaces de derribar misiles balísticos intercontinentales (ICBM) lanzados desde Tierra, disparándoles rápidamente, en cuanto salen de la atmósfera terrestre.

La conocida como "guerra de las galaxias" o Iniciativa para la Defensa Estratégica que propugna la Administración americana, se basa en la disponibilidad de conjuntos de satélites destructores y satélites espías con el fin de crear un "escudo" protector sobre los territorios a proteger. La dificultad del sistema radica, más que en la puesta en órbita de los distintos elementos, en la elaboración de los programas que hagan inteligentes y operativos los distintos conjuntos funcionales, de forma que sean capaces de sortear los "señuelos" y contramedidas enemigas.

Véase **Láser; Misil; Satélite de reconocimiento**

El satélite es el vehículo espacial que, más que cualquier otro, se presta para la defensa y el ataque, ya que su sistema de visión cubre zonas muy extensas de nuestro planeta. En un hipotético conflicto espacial, ilustrado abajo, se combate con armas de rayos láser y de haces de partículas (las armas de un futuro muy cercano). Vemos un arma orbitante soviética de haces de partículas (1) que desactiva un satélite de reconocimiento estadounidense (2). Los americanos, entonces, activan un topo (3) para sustituirlo, pero a su vez el arma soviética es alcanzada por el rayo láser de un satélite americano (4) que protege un grupo de satélites para la defensa antimisiles, para comunicaciones (5) y para seguimiento por radar de aviones rusos que envía datos a la estación de Tierra (2) y (6). El satélite (4), al mismo tiempo, aniquila una mina espacial (7) y un misil A-SAT (antisatélite); un misil A-SAT americano se dirige contra un satélite soviético de comunicaciones (8); un caza F-15 americano lanza un misil A-SAT contra un satélite espía soviético (9); una estación USA de láser, situada en una montaña, intercepta un misil balístico intercontinental con cabeza nuclear y un satélite de observación soviético (10).




7
4
5
2
3
1
misil antisatélite
A-SAT
6
8
10
misil balístico
intercontinental
con cabeza nuclear
CCCP
estación de
radioescucha
en Tierra
base
aérea

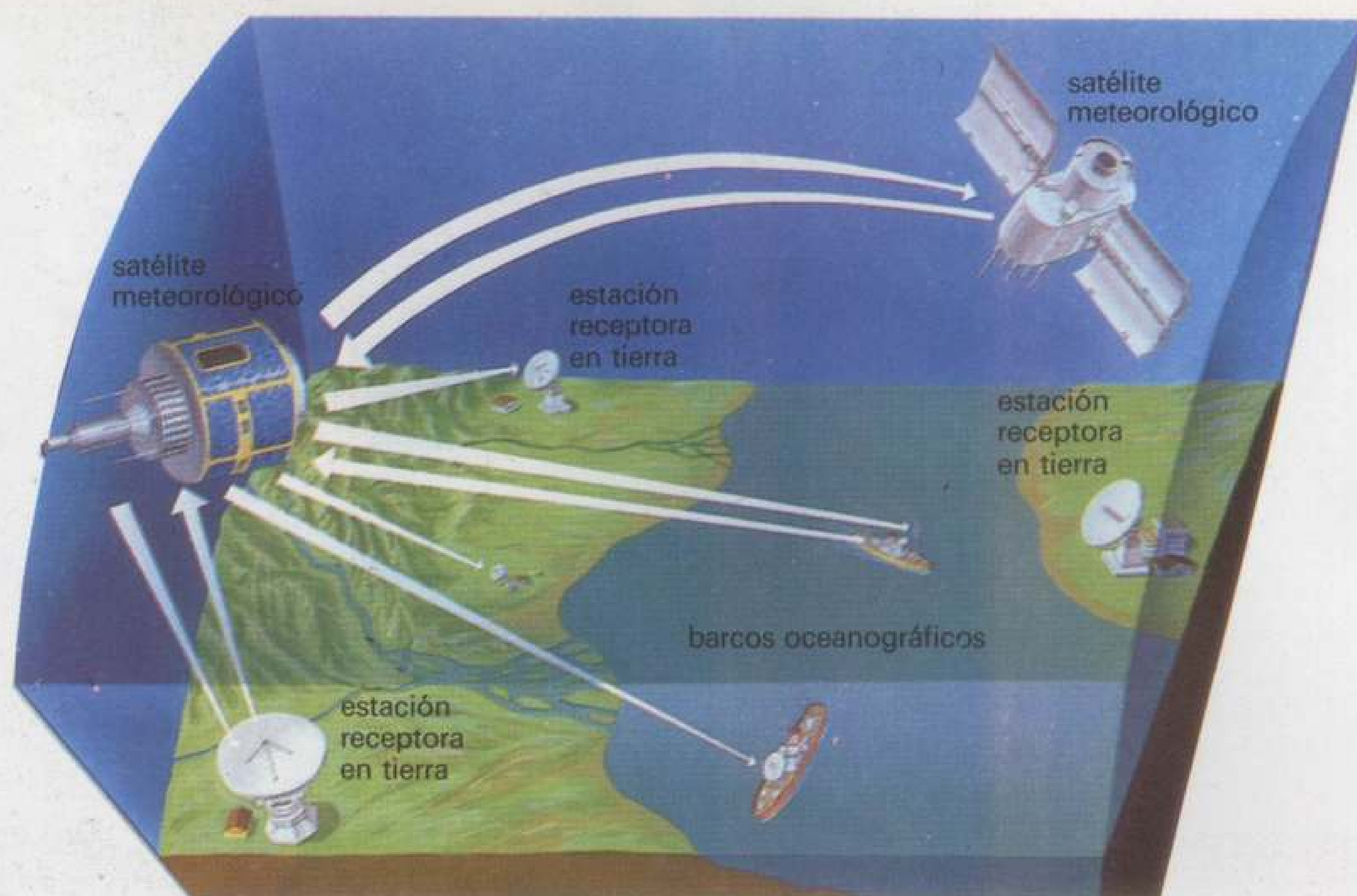
Satélite meteorológico

El uso de satélites orientados a la observación de la atmósfera desde el espacio ha supuesto un avance decisivo en el campo de la Meteorología, y, en particular, en la rama de esa ciencia cuya finalidad es la predicción del tiempo. Estas plataformas de observación orbitales proporcionan un flujo ininterrumpido de datos que permiten la localización de formaciones tormentosas y huracanes, y suministran la información necesaria para la elaboración de mapas del tiempo y para la determinación de pronósticos a corto plazo con un escaso margen de error.

El primer satélite meteorológico, denominado TIROS (iniciales inglesas de Satélite para Observación en el Infrarrojo con cámara de Televisión), fue puesto en órbita por la NASA en el año 1960. Este satélite, junto con otros nueve de la misma serie, permitió a los científicos por vez primera observar desde el exterior de la atmósfera el manto nuboso de la Tierra. En lugar del caótico conjunto de formaciones nubosas, difícil de interpretar, que se observa desde un avión o una montaña elevada, las imágenes desde el espacio presentaban unas estructuras perfectamente definidas, que permitían a los meteorólogos seguir la evolución ordenada de los fenómenos atmosféricos mientras éstos se iban produciendo, pudiendo identificar las depresiones, tempestades tropicales y huracanes, y seguirlos desde los primeros momentos de su formación.

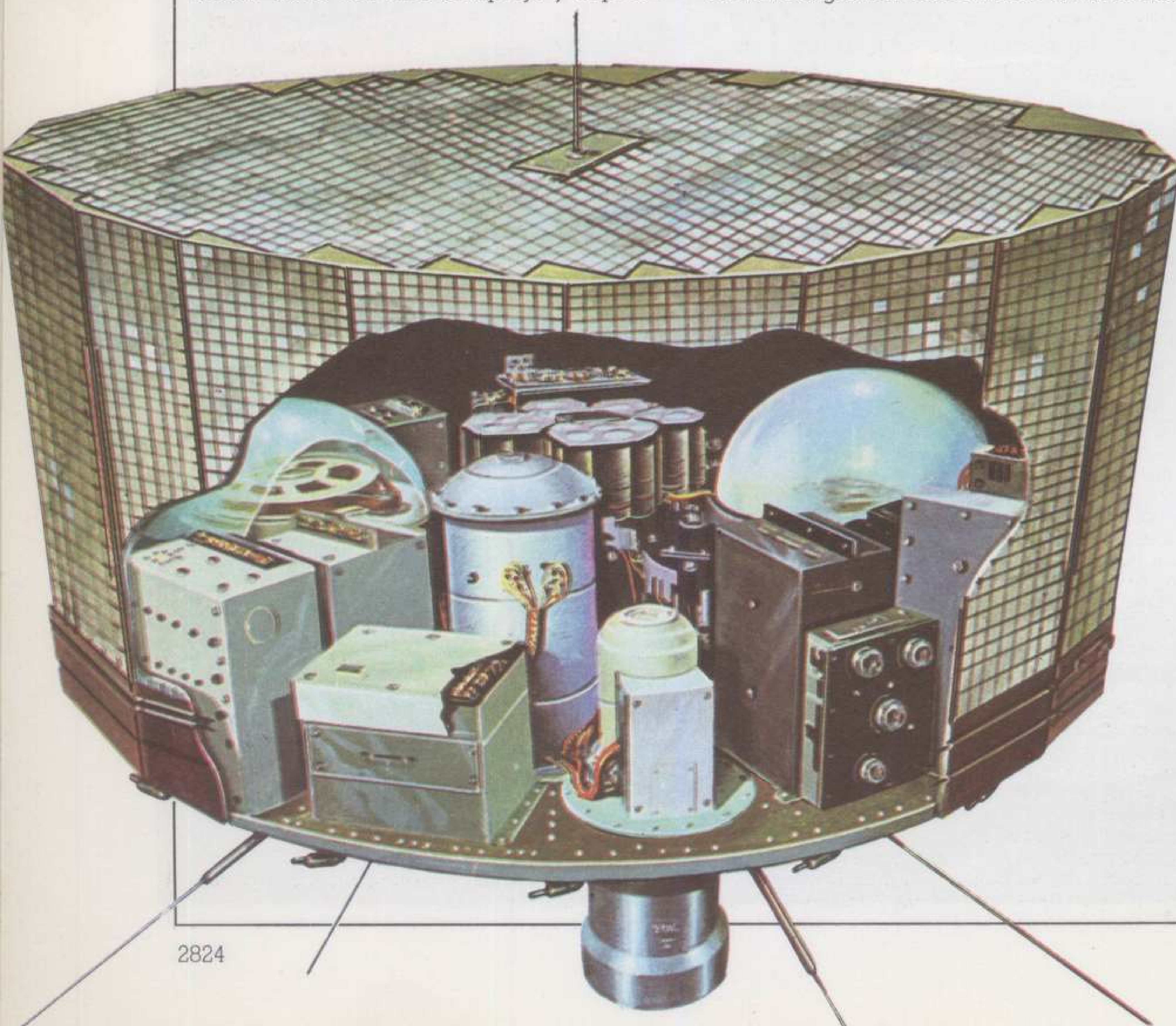
Desde esa fecha, y como resultado de los primeros éxitos obtenidos, se ha lanzado al espacio una gran cantidad de satélites meteorológicos, con una instrumentación cada vez más compleja y específica, que no sólo ha permitido ir mejorando la calidad de los datos recibidos y estudiar la evolución de las masas nebulosas y la temperatura de la superficie, sino también la estructura y composición de la propia atmósfera, a distintas alturas, y a niveles tan elevados como son la *estratosfera* e incluso la *mesosfera*.

Los satélites que estudian el comportamiento de la atmósfera pueden dividirse en dos grupos claramente diferenciados, tanto por sus características tecnológicas como por los fines a los que están destinados: los satélites meteorológicos propiamente dichos y los satélites científicos de investigación sobre física atmosférica.

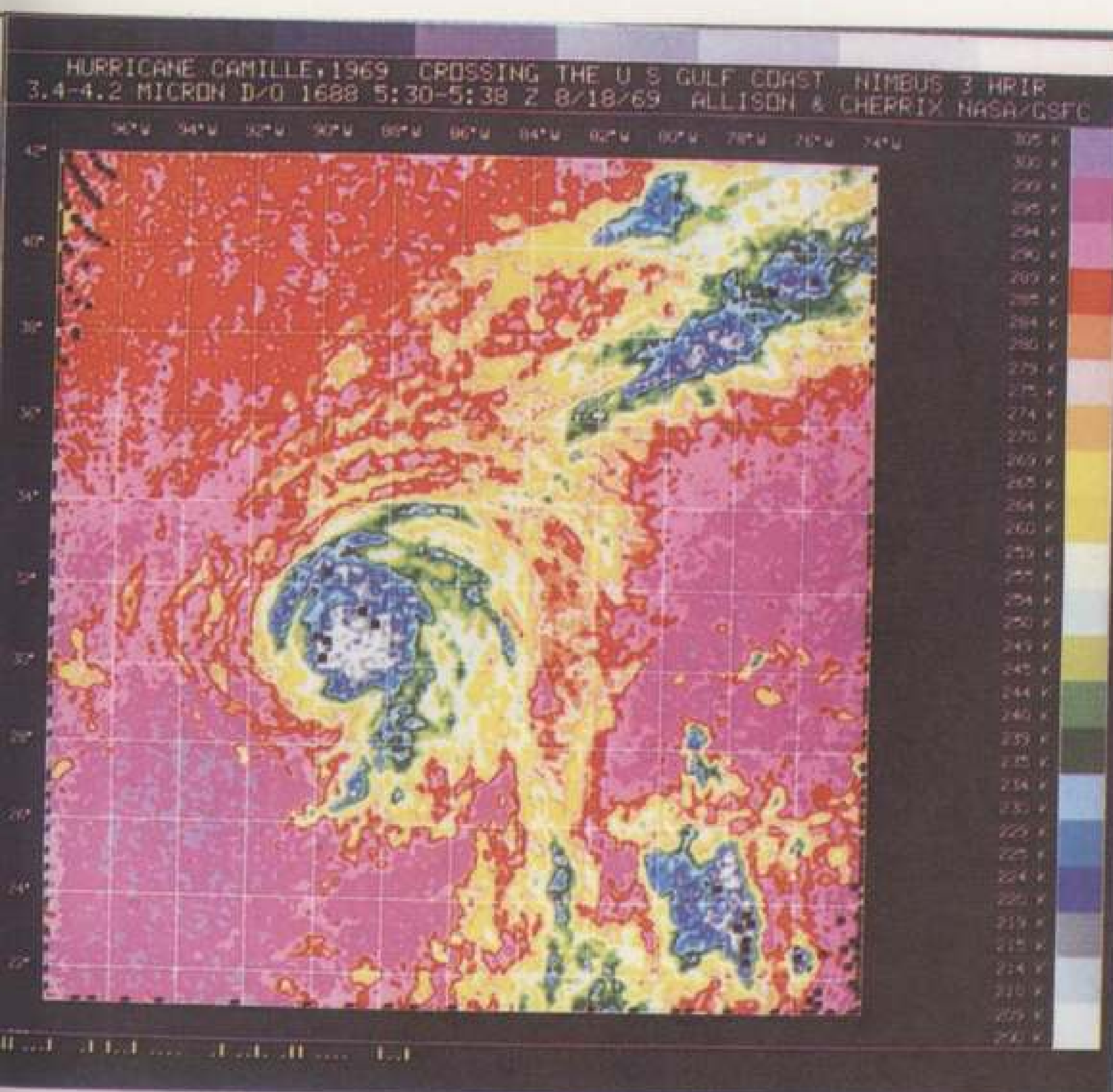


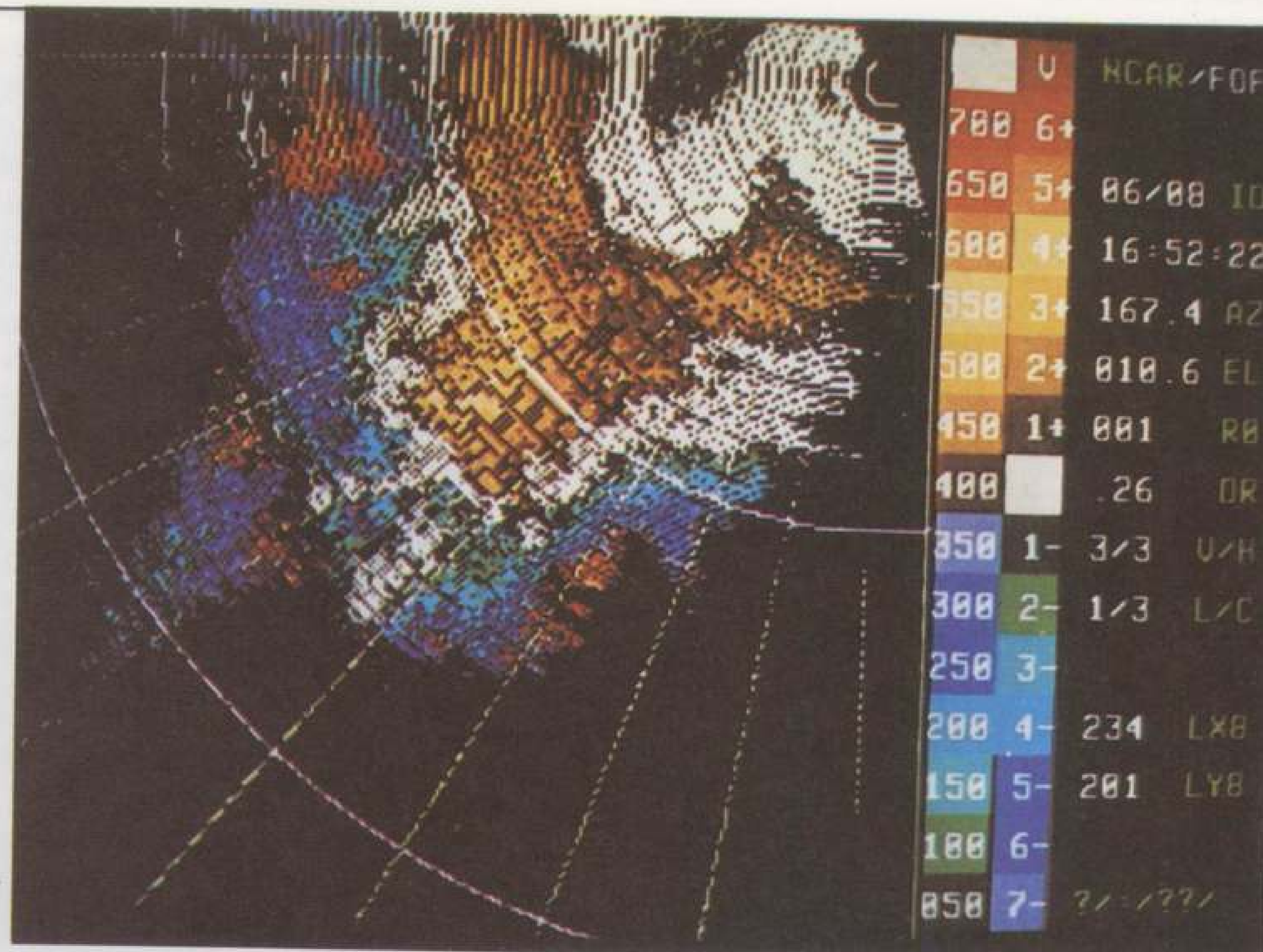
Satélites meteorológicos Los satélites meteorológicos se sitúan en una órbita ecuatorial geoestacionaria, es decir, su velocidad angular es idéntica a la de la Tierra, de forma que para un observador en la superficie del planeta el satélite se encuentra siempre fijo en la misma posición. Para que este estado de equilibrio sea posible, la órbita a la que deben situarse se encuentra a una altura de unos 36.000 km. Su misión es fotografiar la superficie de una manera continuada, tanto en la banda del visible como en el infrarrojo. De las fotografías obtenidas se deduce la extensión y el desarrollo de las masas nebulosas, la formación de ciclones tropicales y, estudiando los desplazamientos de las nubes en sucesivas secuencias, la dirección y velocidad del viento a gran escala.

Un programa internacional ha permitido la puesta en órbita de cinco satélites de este tipo, posicionados de forma que cubren la totalidad de la Tierra. La rapidez



El primer proyecto internacional coordinado para el estudio de las relaciones entre los diversos fenómenos atmosféricos fue el GARP (Global Atmospheric Research Programme o Programa de Investigación Global de la Atmósfera). El GARP, resultado de los esfuerzos conjuntos y de la colaboración entre varios organismos científicos y meteorológicos internacionales, cuenta con una densa red de estaciones en tierra, con barcos oceanográficos y con estaciones de de observación en el exterior de la atmósfera. Un esquema representativo del proceso de intercambio de datos entre estos componentes se muestra en el dibujo de la parte superior de esta página. Los datos e informaciones procedentes de las distintas estaciones, además de configurar un cuadro completo de la situación meteorológica, permiten adoptar medidas preventivas, cada día más eficaces, ante la posible formación de fenómenos destructivos y peligrosos para el hombre. En este sentido, juegan un importante papel los satélites meteorológicos. El dibujo a la izquierda de estas líneas muestra el interior del *Tiros I*, el primer satélite con instrumental de observación meteorológica, lanzado por Estados Unidos el 1 de abril de 1960.





en el tratamiento y procesado de las imágenes recibidas desde los satélites es fundamental, tanto de cara a la previsión como a la elaboración de predicciones meteorológicas. Hoy día ya se ha convertido en un hecho cotidiano la presentación de estas imágenes en los boletines diarios de predicción del tiempo en los medios de comunicación.

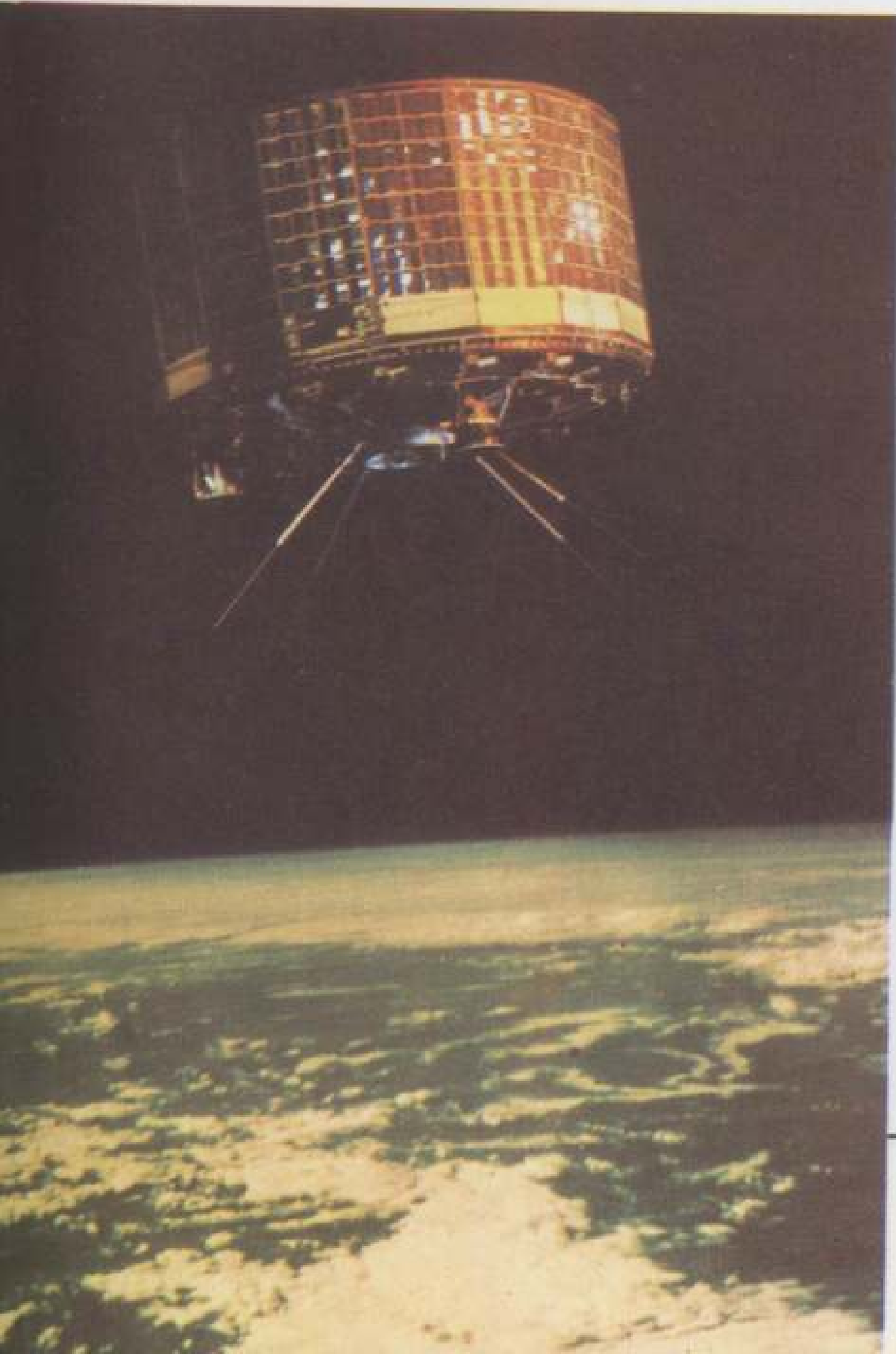
El satélite encargado en la actualidad de tomar imágenes de Europa es el Meteosat 2, patrocinado por la Agencia Europea del Espacio (ESA), que está enviando imágenes de una extraordinaria calidad desde julio de 1981.

Sin embargo, la situación de estos satélites en un plano ecuatorial limita la resolución en las zonas cercanas a los polos por efecto de la perspectiva. Para obviar este inconveniente, existen satélites con órbita polar, situados a alturas mucho más bajas (alrededor de 900 km), que cubren en su movimiento todo el globo, fotografiándolo por partes a una velocidad tal que proporcionan en un día dos imágenes completas de la superficie terrestre, y aportando gran cantidad de datos de las regiones polares, concretamente de aquellas no accesibles a los satélites geoestacionarios.

Satélites de investigación Mientras que los satélites meteorológicos envían información rutinaria, existen otros cuya misión es el estudio global de la atmósfera desde un punto de vista físico. Poseen una instrumentación más sofisticada, destinada a la medida de parámetros concretos a distintos niveles y a distintas latitudes. En el año 1964 dio comienzo un programa, auspiciado por la NASA, para la puesta en órbita de una serie de satélites con finalidad científica denominados NIMBUS. En la actualidad, el último de ellos, el NIMBUS 7, permanece activo con la mayor parte de los instrumentos de a bordo en funcionamiento. Sus objetivos son muy variados, desde la identificación de regiones marinas con grandes cantidades de fitoplancton, hasta el conocimiento del contenido y distribución de NO_2 en la atmósfera. Dos de estos instrumentos, con principios de funcionamiento distintos, tienen como misión la medida precisa de la concentración de ozono en la estratosfera, y permiten monitorizar de manera continua la distribución de este gas tan importante para la vida del planeta, así como estudiar su evolución en el espacio y en el tiempo.

Tratamiento de las imágenes Aunque en la actualidad cualquier aficionado a la electrónica puede instalarse por sí mismo un equipo para recibir en un monitor de televisión las fotos enviadas por el Meteosat u otros satélites geoestacionarios, el tratamiento y la interpretación de estas imágenes, para la elaboración de modelos de previsión y para su difusión internacional, requiere un considerable aparato electrónico e informático. Por esta razón, en los últimos años, los centros meteorológicos nacionales han sido dotados de potentes ordenadores que les permiten sacar el máximo provecho de estos silenciosos observadores de la atmósfera. Actualmente, la gran calidad de las fotografías tomadas desde los satélites permite a los meteorólogos estar continuamente informados sobre todo lo que sucede en la atmósfera terrestre, identificando los posibles centros de inestabilidad atmosférica y registrando las más mínimas variaciones climáticas que tienen lugar en nuestro planeta. Todos los datos procedentes de estos satélites son introducidos en ordenadores, que facilitan a los meteorólogos la tarea de elaborar modelos de comportamiento climático cada vez más exactos, al mismo tiempo que permiten la formulación de previsiones, a medio y largo plazo, con gran precisión y fiabilidad.

Véase **Meteorología; Meteorología, instrumentos; Meteorología, predicción**



A partir de las fotografías tomadas por los satélites meteorológicos (como el que aparece a la izquierda de estas líneas) puede obtenerse una perspectiva global de la situación meteorológica. Estos satélites están equipados con diversos instrumentos de observación y medición. Los datos suministrados son introducidos en grandes ordenadores, que permiten a los meteorólogos la formulación de predicciones precisas, a corto o medio plazo. En la parte superior pueden observarse dos claros ejemplos de la utilidad de las imágenes tomadas desde satélites. A la izquierda, una imagen del huracán Camila, elaborada mediante ordenador a partir de tomas fotográficas sucesivas, en el canal infrarrojo, desde el satélite *Nimbus 3*. El resultado es un mapa de distribución de temperaturas, cada una de ellas representada por un color distinto de acuerdo a la escala en grados Kelvin que se muestra a su derecha, y que se extiende desde +27 °C (zonas de color púrpura) hasta −55 °C (zonas de color azul). En la fotografía de la derecha aparece la imagen, también elaborada con técnica de tratamiento de colores, tomada por medio de un radar, de un huracán, responsable de una intensa granizada en la parte nororiental de Colorado (EE UU).

Saturno

En el modelo del Sistema solar que existía en la antigüedad, Saturno era considerado el planeta más externo, al ser el más lejano de los seis que se observaban a simple vista.

Bautizado con el nombre del dios romano Saturno, este planeta de suave color opalino se encuentra a una distancia de 1.427 millones de kilómetros, equivalente a 9,54 veces la distancia entre la Tierra y el Sol. A pesar de hallarse tan alejado, es uno de los cuerpos celestes más luminosos y mantiene siempre su brillo de primera magnitud.

Características físicas Saturno presenta un marcado achatamiento polar. Efectivamente, siendo sus diámetros ecuatorial y polar de 119.400 y 106.900 kilómetros respectivamente, se trata del planeta más elíptico del Sistema solar.

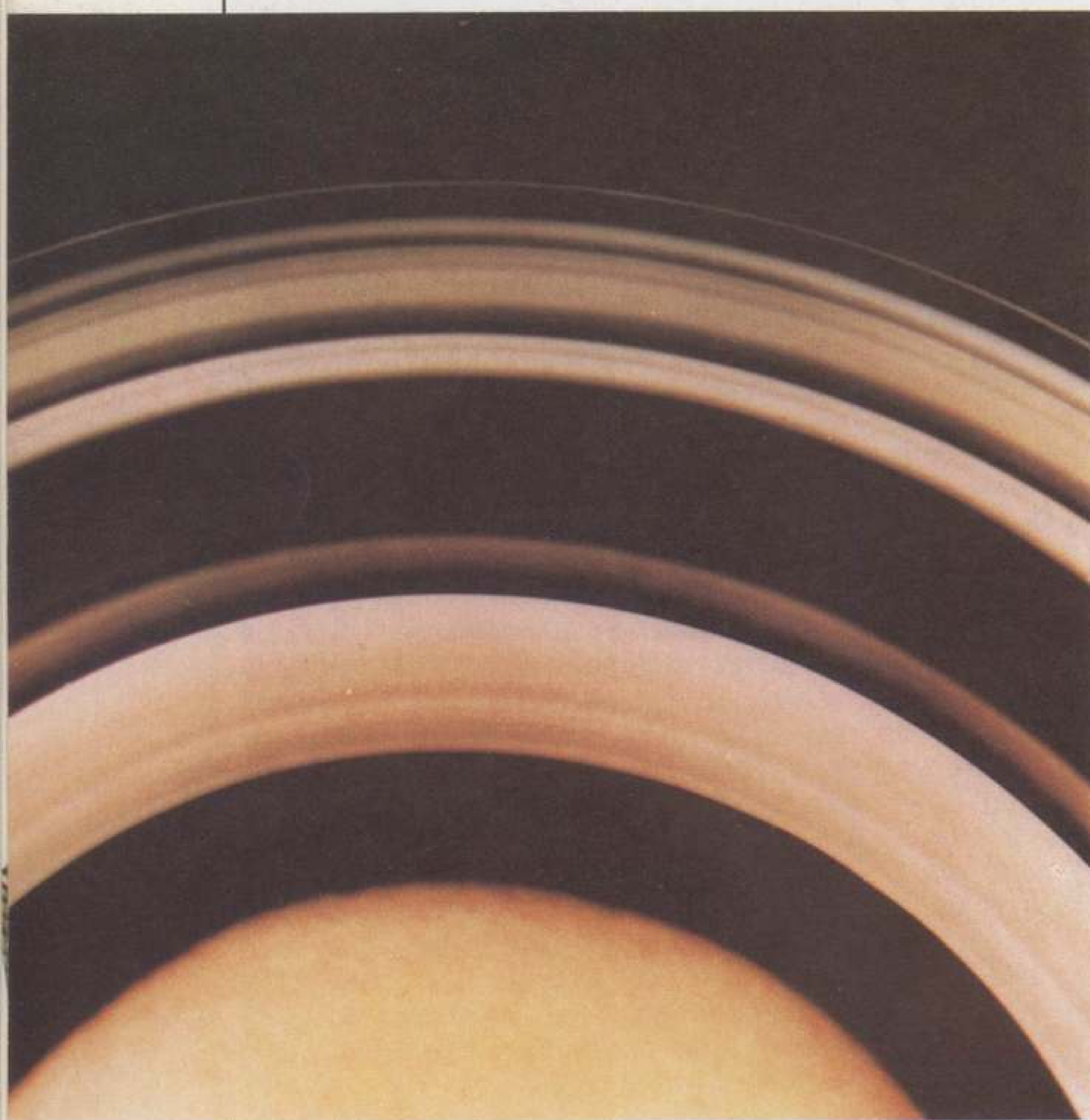
Su período sideral, o tiempo que emplea en describir una órbita completa alrededor del Sol, es de 29 años y medio, viajando a una velocidad media de 9,7 km por segundo. Muestra igualmente un movimiento de rotación en torno a su eje, realizando un giro completo cada 10^h 14'. Su plano orbital presenta una inclinación de 2,5° con respecto al plano de la eclíptica.

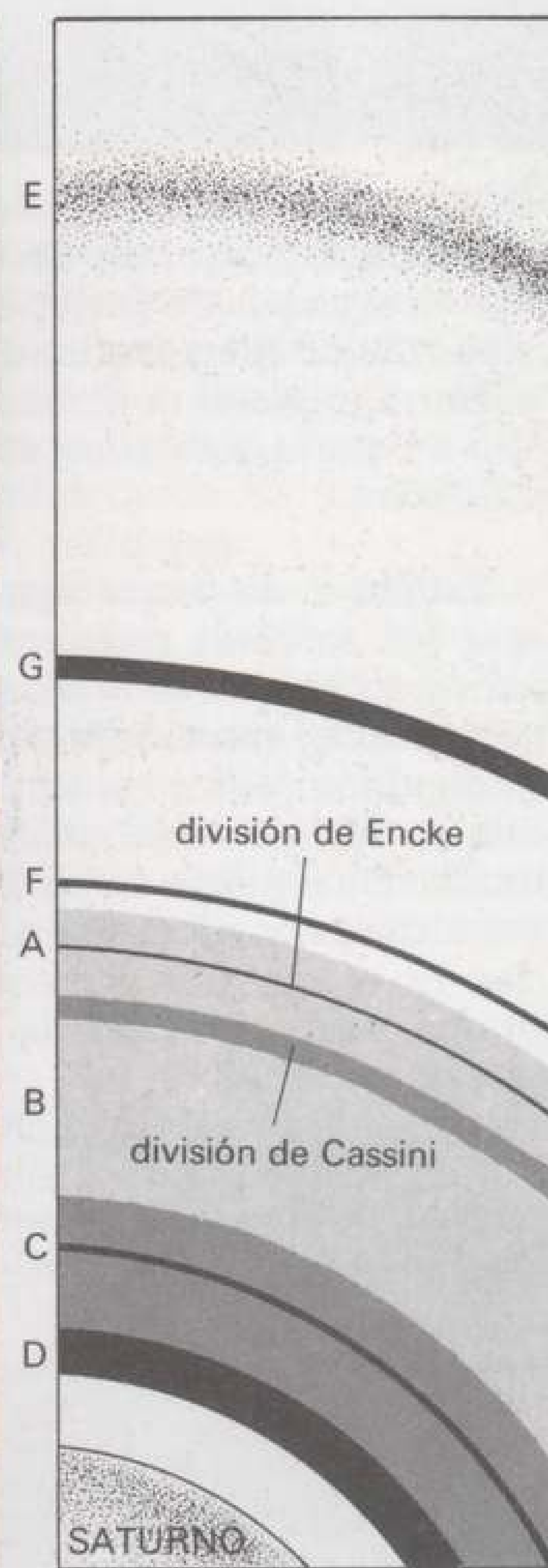
Aunque el volumen de Saturno es 743,7 veces el de la Tierra y su masa 95,3 veces la terrestre, su densidad es inferior a la del agua (que tiene un valor de 1), con un valor de 0,7 gramos por centímetro cúbico. Esto significa que si el planeta Saturno fuera, hipotéticamente, arrojado a un océano colosal, flotaría en él como si de madera se tratase. Se cree que este gran globo gaseoso está constituido, principalmente, por hidrógeno molecular y helio, además de amoniaco y metano, y, en menores cantidades, neón y argón.

La temperatura superficial de Saturno es de −180 °C. Aunque su superficie presenta varias características peculiares, como bandas oscuras y puntos claros y oscuros que aparecen y desaparecen en diferentes momentos, el planeta puede considerarse formado por un gran océano de gas y un núcleo interior de hielo y roca. La superficie es continuamente barrida por fuertes vientos que proceden, indistintamente, del este y del oeste. En el ecuador, los vientos del este alcanzan velocidades de 800 km por hora, casi dos tercios de la velocidad con que se propaga el sonido sobre el planeta. La distribución de los vientos es simétrica en ambos hemisferios. Saturno se halla rodeado por una espesa capa de nubes, cuyos colores varían a lo largo de una amplia gama que va desde el blanco al marrón amarillento. Estos cambios de tonalidad son, probablemente, debidos al azufre, que cambia de color según la estructura molecular en que se encuentre. La composición de su atmósfera, similar a la del Sol, está constituida por metano, amoniaco, hidrógeno molecular y pequeñas cantidades de otros gases. Aunque se ha previsto la existencia de helio en su atmósfera, ésta no ha sido aún confirmada. Las proporciones de estos gases no se mantienen estables y sus moléculas no se combinan siguiendo esquemas previsibles. Todo ello da lugar a que la composición química de Saturno sea fluctuante, como demuestra el incesante movimiento de nubes multicolores sobre su superficie. Si la atmósfera fuese relativamente estable, como sucede en la Tierra, las nubes serían de un único color.

Saturno genera a su alrededor un intenso campo magnético, capaz de originar las tormentas y vientos magnéticos que giran vertiginosamente a su alrededor, y cuya intensidad sólo disminuye en las proximidades de los polos, permitiendo, así, el paso hacia el planeta de una pequeña parte del viento solar.

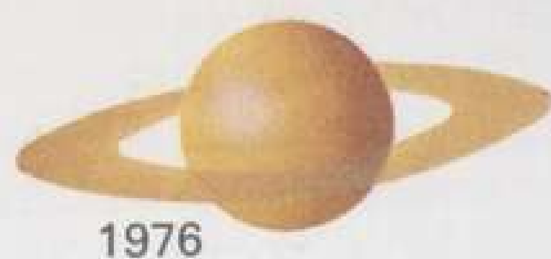
Según se ha podido observar recientemente, el campo magnético de Saturno, aunque muy grande, ha resultado ser más débil de lo que se sospechaba. Sin embargo, emite ondas de radio de forma discontinua, a modo de pulsaciones, con un período de 10 horas y 39 minutos. Se sabe que estas emisiones de radio tienen su origen en las regiones polares del planeta, aunque siguen desconociéndose los mecanismos que las originan.

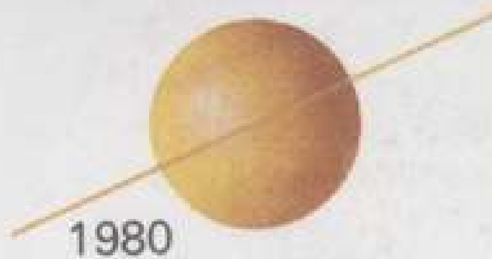




Abajo se pueden apreciar algunos de los diferentes aspectos que toma Saturno a lo largo de su traslación alrededor del Sol. Ya que el plano que contiene los anillos, que coincide con el plano ecuatorial del planeta, se encuentra inclinado con respecto al plano de su órbita en torno al Sol (que también coincide con el plano de la eclíptica o plano orbital terrestre), el sistema de anillos de Saturno aparece bajo aspectos distintos a medida que éste se desplaza sobre su órbita. Así, en un período de 29,5 años, que es el período sideral de Saturno, o lo que es lo mismo, el tiempo que tarda en describir una órbita completa alrededor del Sol, el planeta aparece dos veces de perfil, es decir, en una posición en que los anillos no son visibles, lo que confirma su débil espesor. A la izquierda, un mapa de los anillos principales, en el que cada uno es representado por una letra del alfabeto, siguiendo el orden cronológico de su descubrimiento. Sólo los anillos, A, B y C son conocidos desde el siglo XVII; los otros pudieron ser detectados muy recientemente, gracias a diversas sondas. Más a la izquierda, reconstrucción del sistema de anillos realizada por un ordenador. No todos los anillos resultan visibles en esta figura.











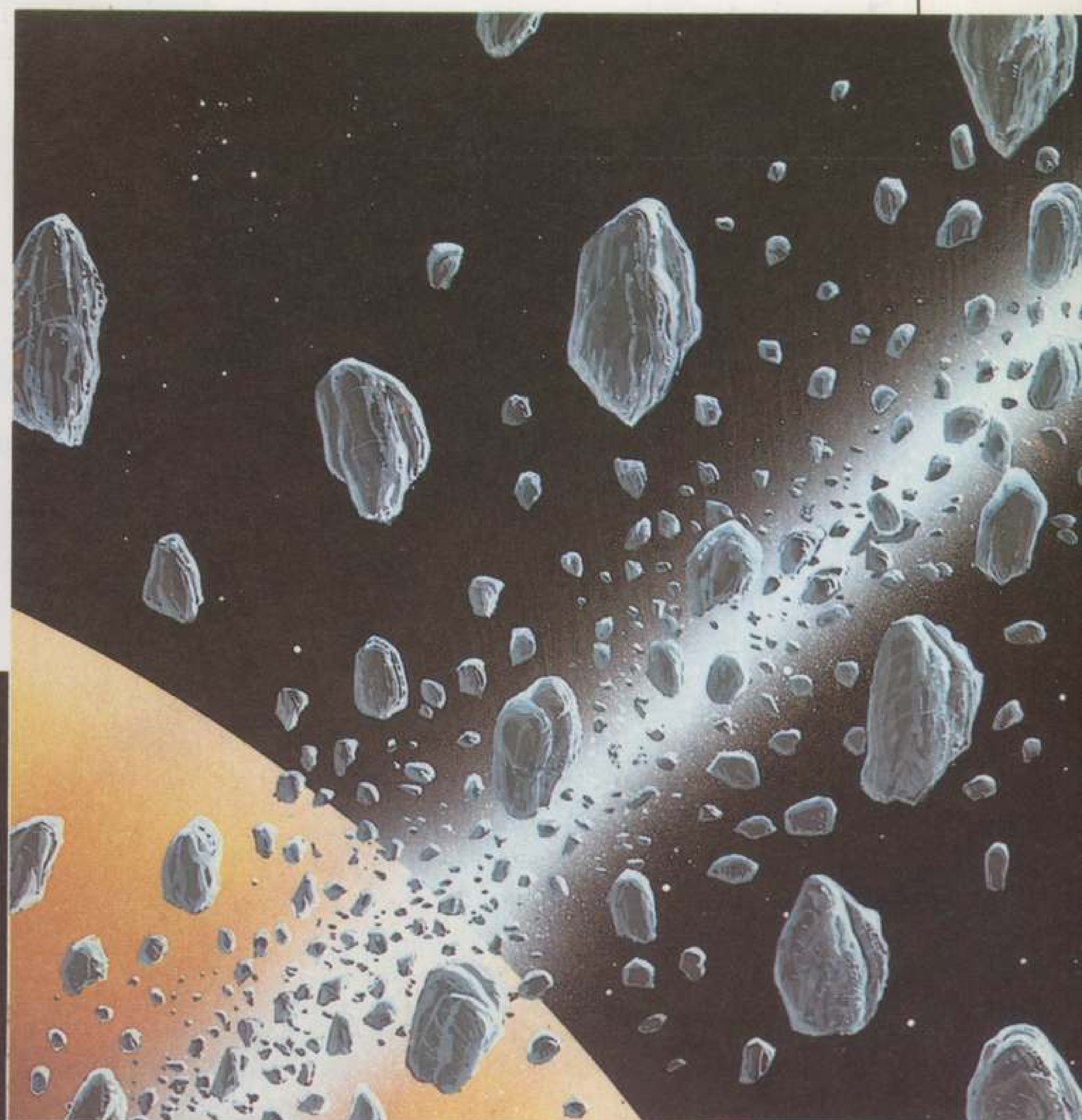


Los anillos de Saturno En el año 1610, Galileo descubrió el gran sistema de anillos que rodeaba a Saturno, aunque, dada la poca potencia de su telescopio, no llegó a conseguir una descripción clara y nítida de los mismos. En 1659, Christiaan Huygens observó el planeta en su verdadero aspecto, particularizando la naturaleza de sus anillos, que constituían una es-

pecie de disco circular en órbita a su alrededor.

Actualmente, observados a través de un telescopio de mediana potencia, los anillos aparecen como dos coronas circulares concéntricas (A y B), separadas por una franja que se conoce con el nombre de *división de Cassini*. El sistema de anillos, considerado en conjunto, tiene una anchura de 67.000 km y su borde dista 11.250 km del ecuador del planeta. Su espesor, sin embargo, no alcanza los 16 km. Observaciones más recientes, realizadas con un mayor acercamiento, revelaron la presencia de dos nuevos anillos más internos, designados con las letras C y D, y detectaron otro anillo, el E, más allá del sistema de anillos principal y, por lo tanto, el más alejado del planeta.

Abajo, reconstrucción, realizada mediante ordenador, del sistema de anillos de Saturno a partir de las imágenes obtenidas por el *Voyager I* desde una distancia de 8 millones de kilómetros. Ya en el siglo XIX, se había observado una subdivisión del sistema anular en varios anillos más finos, gracias a la utilización de los más potentes telescopios de la época. A la derecha una imagen hipotética del interior de uno de estos anillos, constituidos por partículas y trozos de roca y de hielo.



En el año 1980, el vehículo de exploración espacial *Pioneer II* detectó un nuevo anillo, el F, situado un poco más allá del anillo A. Resultó ser un anillo muy peculiar, ya que en su interior se observó una especie de listas que se entrelazaban entre sí y un grupo de lunas "pastor". Un año más tarde, el *Voyager I* descubrió un nuevo anillo, el G, bastante grande y situado entre los anillos F y E, constituido por 500 a 1.000 anillos menores separados, de los que más o menos 100 se encuentran en la división de Cassini.

Los anillos están formados por polvo y partículas de hielo de diferente densidad. Sus dimensiones varían a lo largo de una gama que va desde los pequeños granitos hasta los grandes bloques de casi 1 km de diámetro.

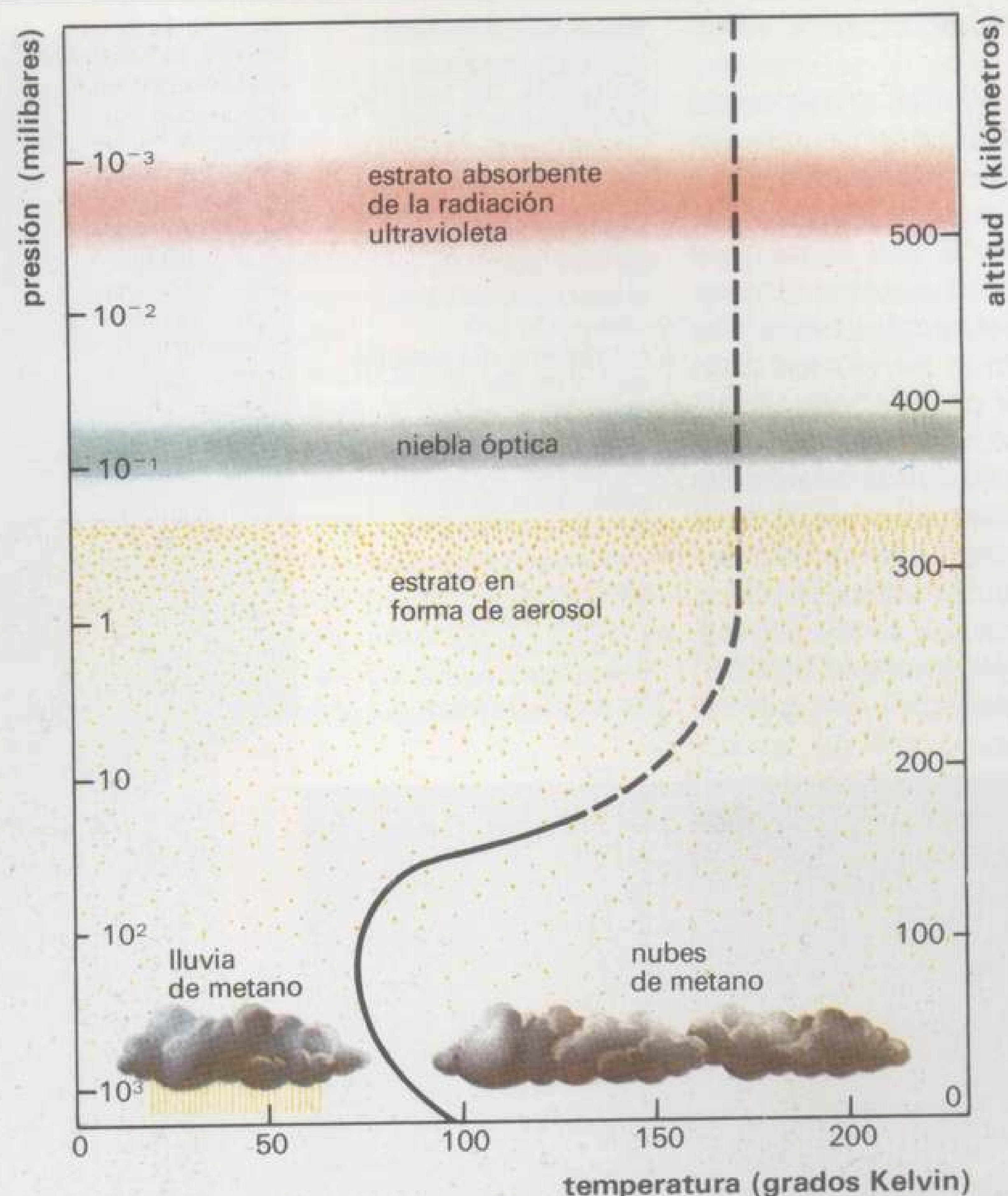
Todavía hoy, los astrónomos no pueden explicar con seguridad los procesos y mecanismos que han dado lugar a la formación y distribución de estos anillos.

Por ahora, son dos las teorías más factibles que pugnan por ser confirmadas: la primera sostiene que un elevado número de cometas y otros pequeños cuerpos fueron atraídos y capturados por el campo gravitatorio de Saturno; éste los hizo explotar y desintegrarse en millones de pequeños fragmentos, que, sujetos a la influencia gravitatoria del planeta, comenzaron a girar a su alrededor. La segunda teoría parte de una hipótesis sobre la probable formación de Saturno: según ésta, el planeta se formó como resultado de la acumulación de grandes presiones que originaron la contracción y solidificación

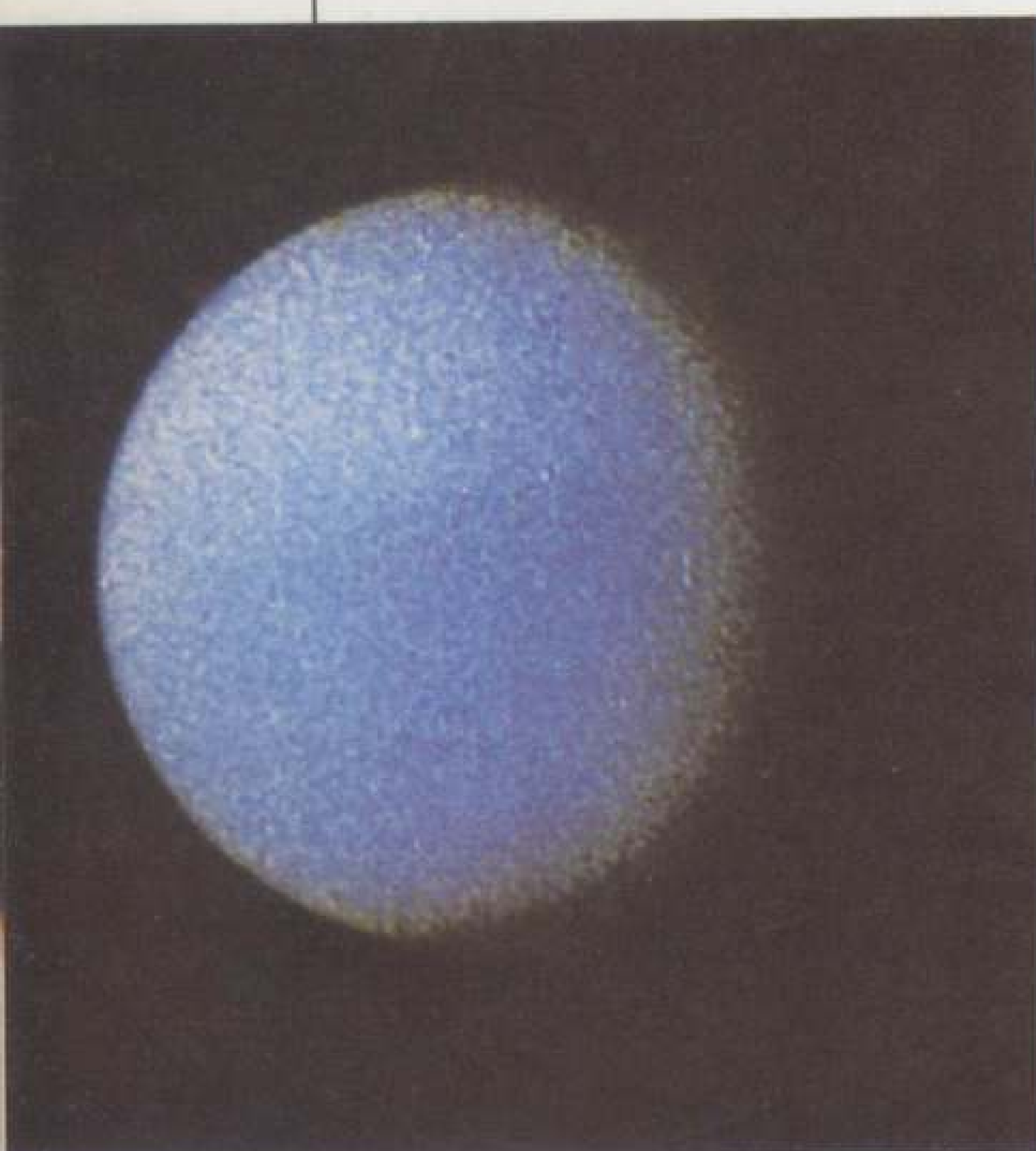
de una pequeña nebulosa, formándose así el núcleo planetario. Sin embargo, y siempre según esta hipótesis, no todas las partículas de polvo y gas fueron empleadas en la formación del núcleo; el material no utilizado quedó en la zona de influencia gravitacional del planeta recién formado, adquiriendo un movimiento orbital en torno a éste.

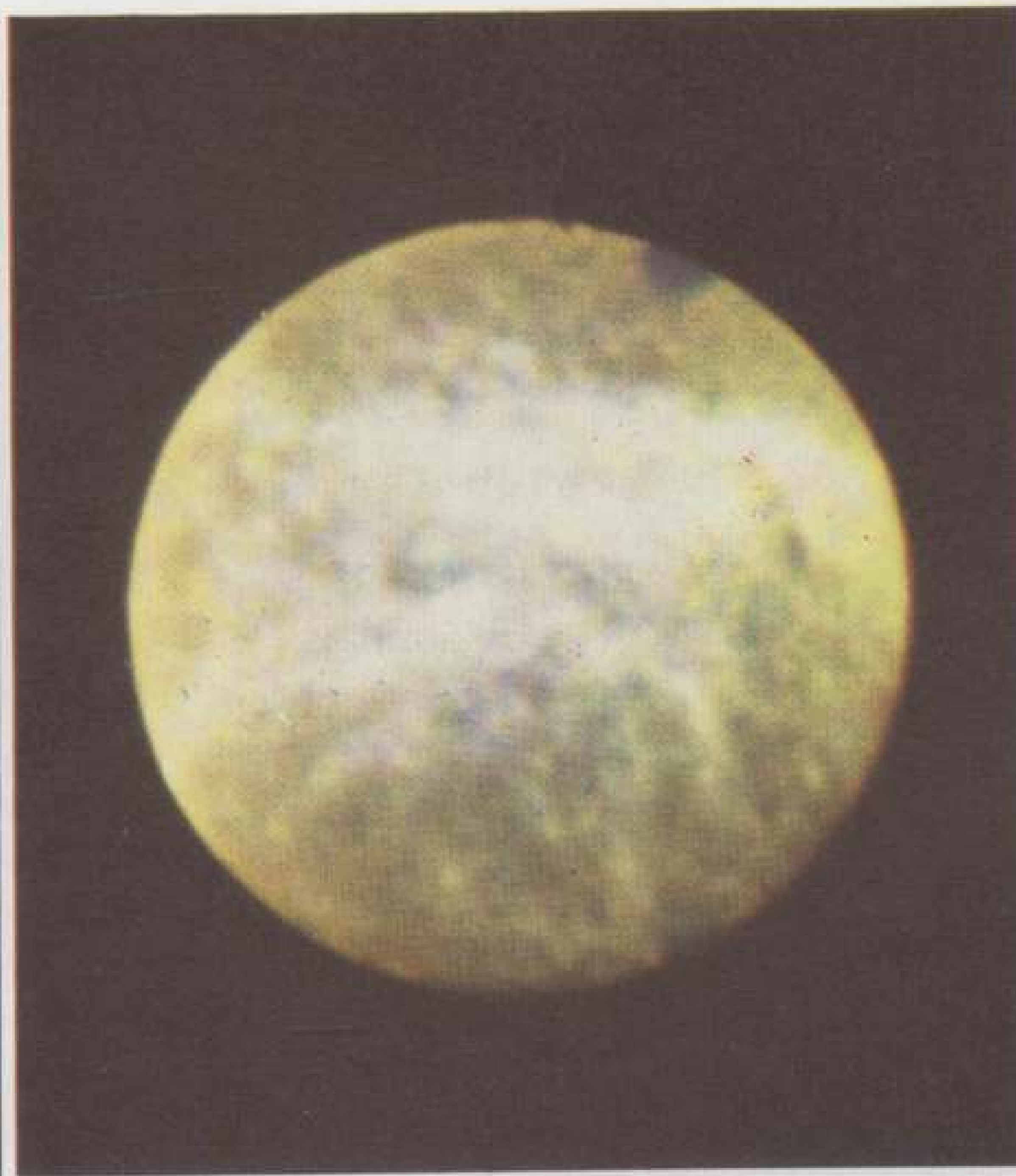
Si esta última teoría fuese confirmada, los anillos corpusculares de Saturno podrían proporcionarnos una información muy valiosa sobre el origen de nuestro Sistema solar.

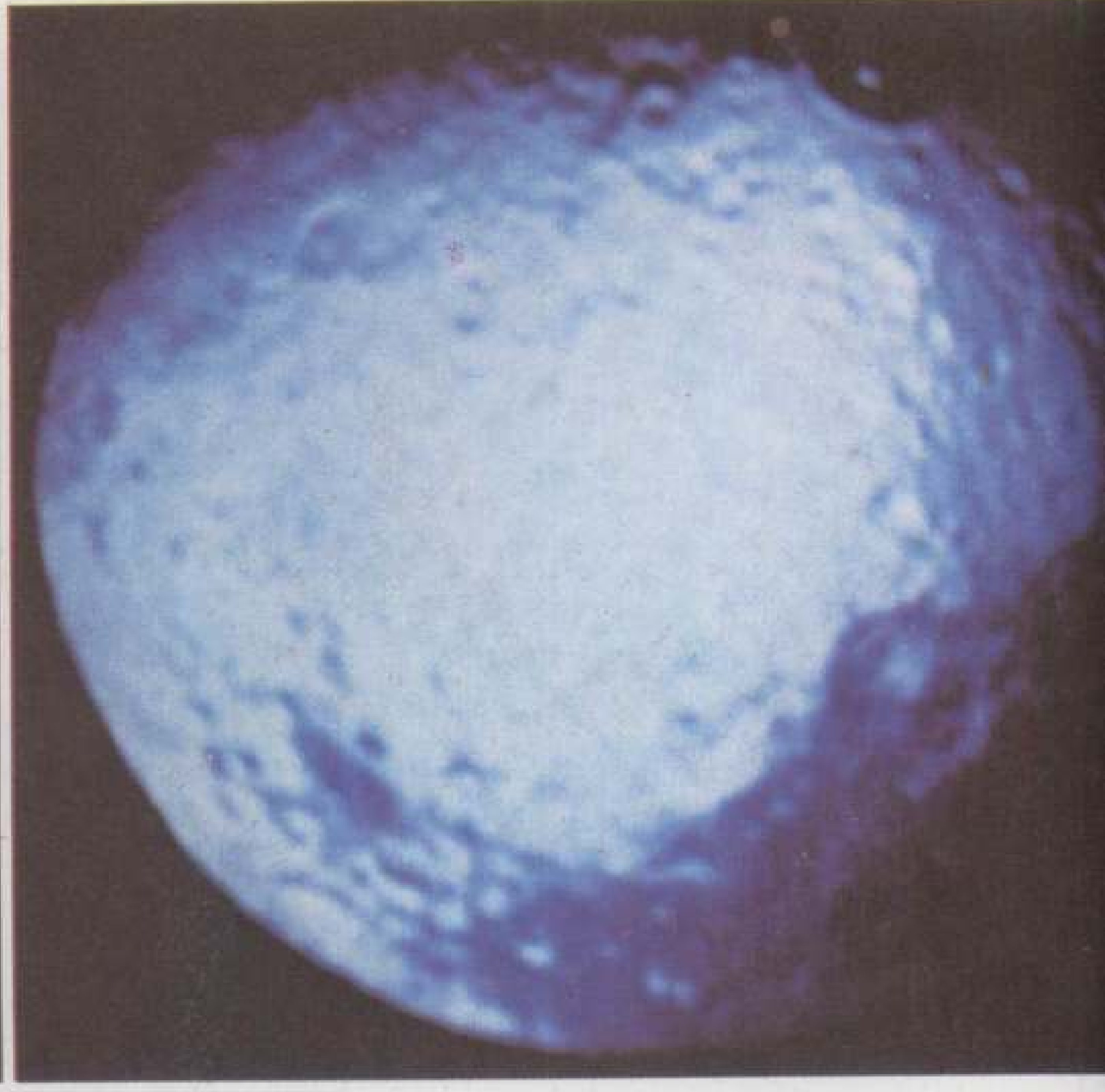
Los satélites Saturno posee 17 satélites conocidos, que giran a su alrededor describiendo órbitas circulares en el mismo sentido en que el planeta recorre su órbita en torno al Sol. La mayor parte de estos satélites está constituida por hielo, y su superficie presenta una densa distribución de cráteres y accidentes topográficos. Todos los satélites son distintos entre sí; la mitad de la superficie de Japeto, por ejemplo, está recubierta por un material oscuro desconocido que, como si fuese pez o brea, inunda los interiores de los cráteres. Tetis se halla rodeado por un enorme anillo, formado por partículas que, probablemente, fueron expulsadas del satélite en uno de sus períodos de glaciación y expansión.

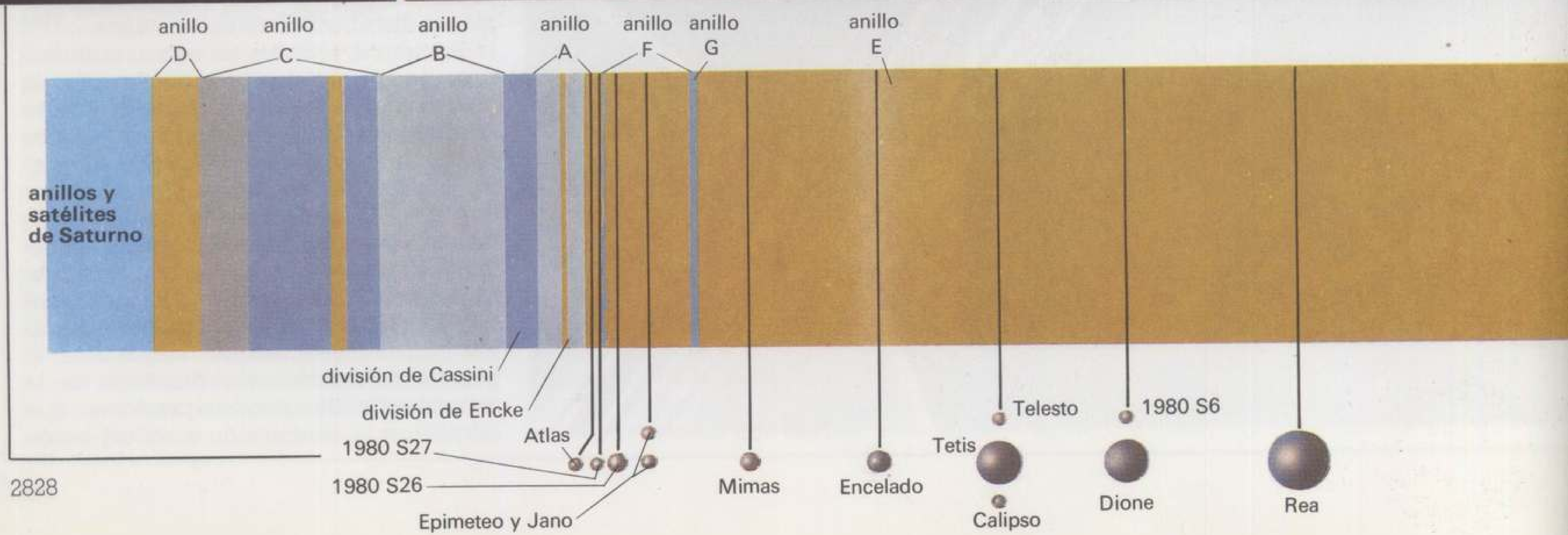




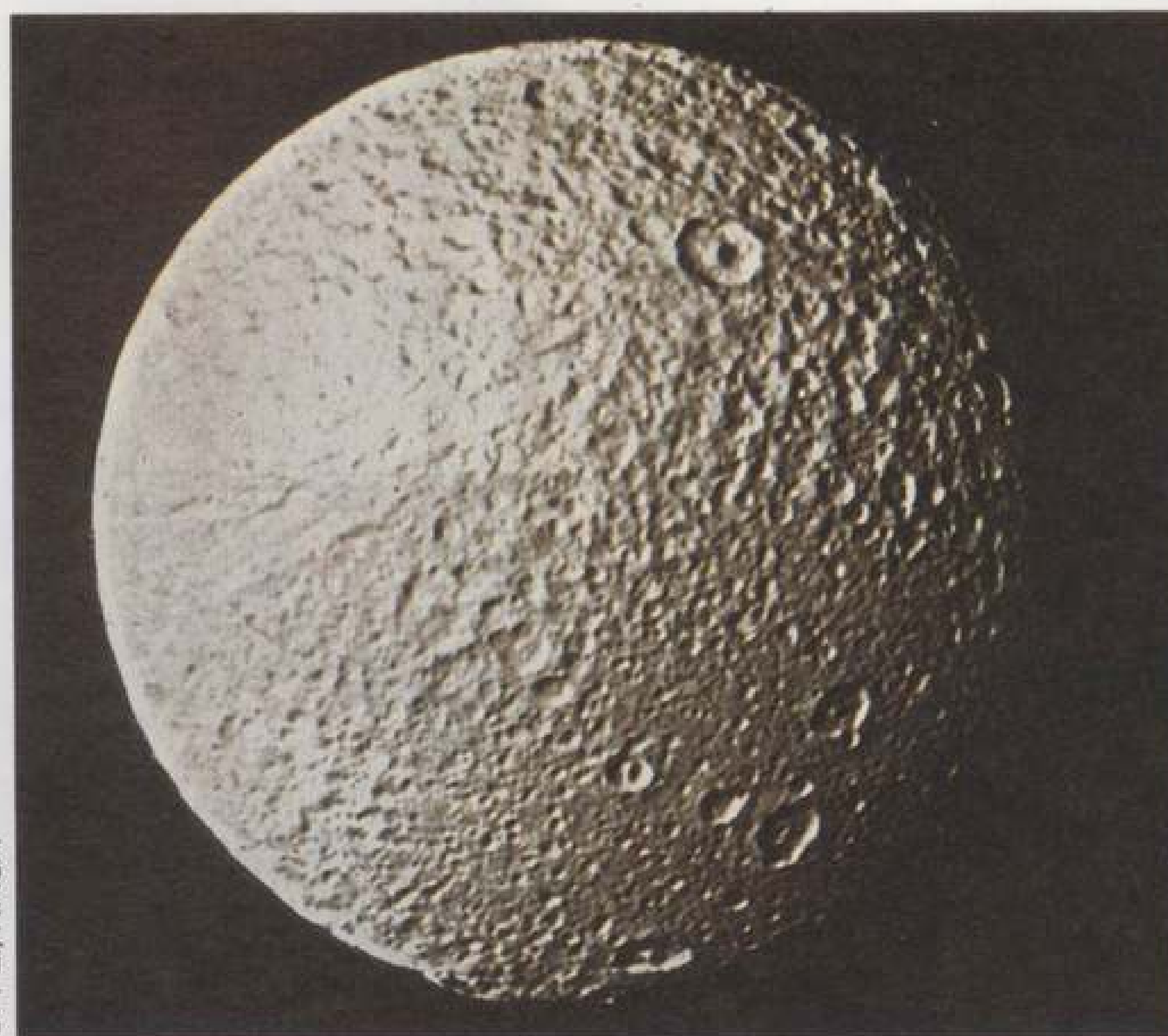








En la parte inferior de estas dos páginas, esquema de los anillos y de los 17 satélites de Saturno. En la página anterior, arriba, diagrama de un corte seccional de la atmósfera de Titán, uno de los mayores cuerpos no planetarios del Sistema solar. Cerca de la superficie del satélite hay una capa de nubes que origina lluvias de metano. Todo el satélite se encuentra cubierto por una espesa capa de nubes. A su derecha, una imagen, con falsa coloración, tomada desde una distancia de 22.000 km por la sonda Voyager II. Pueden apreciarse las superficies de los estratos que absorben la radiación ultravioleta del Sol. En la página anterior, en el centro, imágenes de tres satélites. De izquierda a derecha: Titán, visto desde una distancia de 4,5 millones de km; Rea (fácilmente visible desde la Tierra, incluso con prismáticos), visto desde una distancia de 1,7 millones de km; y Japeto, con su característica superficie cubierta de cráteres. En esta página, Hiperión, que con unas dimensiones de 360 × 210 km aparece alargado. Bajo estas líneas, a la izquierda, Tetis, un satélite de núcleo rocoso y superficie de hielo completamente craterizada. A la derecha, Mimas, con un peculiar cráter, llamado Herschel, de casi 130 km de diámetro y de unos 4 billones de años de antigüedad.



J. PL./NASA





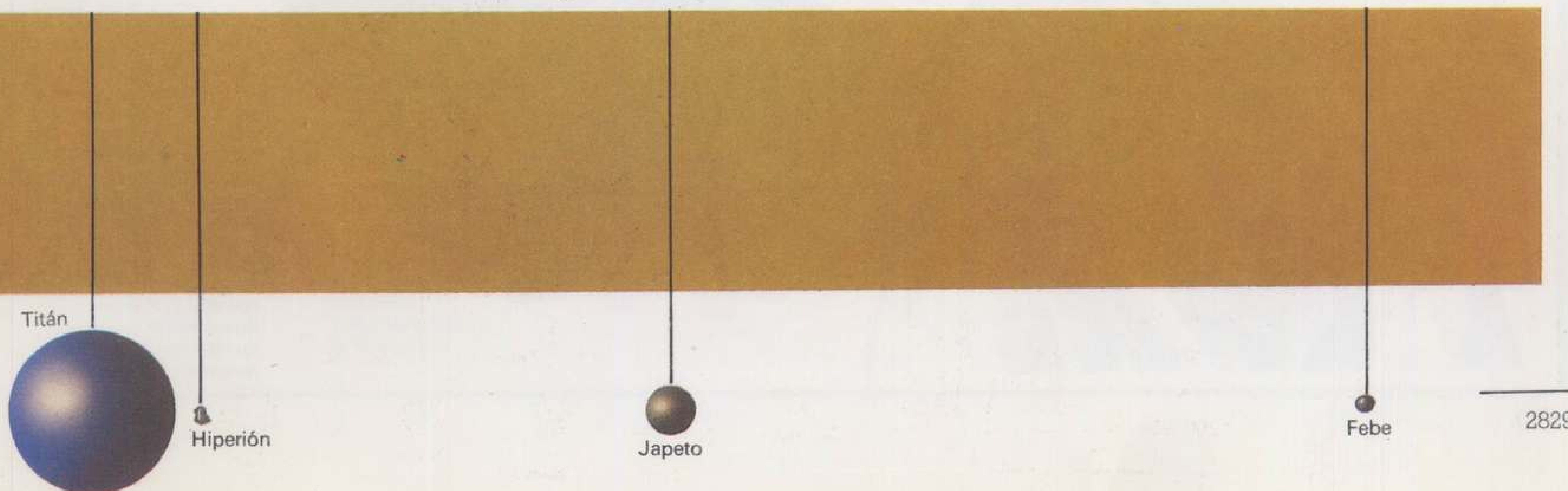
J. PL./NASA

Encelado muestra signos de actividad geológica reciente, ya que su superficie es bastante lisa, careciendo de los típicos cráteres e irregularidades que caracterizan al resto de sus compañeros.

El satélite más grande de Saturno, que es además el segundo satélite en dimensiones y masa del Sistema solar, es Titán, cuyo diámetro de 5.000 km es sólo ligeramente inferior al del planeta Mercurio. Casi el 45% del satélite está formado por hielo (el resto es roca), aunque la composición de su superficie sigue aún siendo un misterio. El único gas conocido cuya presencia en Titán es indiscutible es el metano. Por efecto de la radiación ultravioleta procedente del Sol, el metano se disocia, dando lugar a moléculas de hidrocarburos e hidrógeno, que, bajo el aspecto de un lodo oscuro y marrón, parecido al alquitrán, cubren la superficie del satélite. Con una temperatura superficial de -180 °C, los científicos no pueden asegurar en qué estado se encuentra el metano: gaseoso, líquido o sólido.

Titán es, además, el único satélite de Saturno que posee una atmósfera estable. Esto le confiere un interés muy especial, ya que está compuesta, en un 90-99%, por nitrógeno molecular, como la atmósfera de la Tierra. El metano gaseoso presente en la atmósfera y los gases que forma el metano al combinarse con el nitrógeno confieren al satélite un color anaranjado. Uno de estos gases, el cianuro de hidrógeno, es uno de los compuestos base que los científicos de la Tierra han utilizado para intentar reproducir, artificialmente, las condiciones para la formación de la vida. De todos modos, la atmósfera de Titán carece de uno de los ingredientes necesarios e imprescindibles para la vida, el oxígeno, que existe pero permanece atrapado en las moléculas de agua congelada de la superficie.

Véase **Planetas; Sistema solar**



Secador de pelo

Dirigir un secador de pelo hacia nuestro cabello mojado es prácticamente lo mismo que colocarse delante de un ventilador, pero con una diferencia: el secador de pelo lleva incorporado un calefactor que acelera el secado. Al poner en marcha el secador, entran en funcionamiento el calefactor y el motor que hace girar el ventilador, elemento encargado de impulsar el aire hacia la fuente de calor y de dirigirlo hacia el cabello.

Los secadores de pelo son pequeños electrodomésticos, muy simples y de uso generalizado, que, sin embargo, ocuparon hace algún tiempo las primeras páginas de la prensa cuando los periodistas descubrieron a la opinión pública que contenían amianto (sustancia probadamente cancerígena), llegando incluso a hacer afirmaciones alarmistas, como la de que usar un secador de pelo era como apuntarse con una pistola a la cabeza.

Una ojeada a la construcción y al funcionamiento de este aparato ayudará a explicar esta controversia.

Diferentes modelos de secadores En la actualidad existe una gran variedad de modelos y tamaños de secadores, desde aquellos que incorporan peines y cepillos intercambiables (secadores moldeadores), a los secadores de mano, que han sustituido ventajosamente a los rulos calientes, a los bigudíes e incluso a los secadores tradicionales del tipo "gorro". Estos últimos están dotados de un gran casco de doble capa de vinilo, que se sujeta a la cabeza por medio de cordones, y que va unido al bloque motor mediante un tubo de plástico blando y muy ligero que se mantiene rígido gracias a una espiral de alambre que recorre su interior.



En su versión más simple, el secador de pelo está constituido por un ventilador que expele aire caliente. Al introducirse el aire caliente entre el pelo mojado, éste se seca más rápidamente, debido a que el calor aumenta la capacidad del aire de retener vapor de agua. Si durante el proceso de secado se coloca el cabello de una determinada forma, por ejemplo, curvado formando rizos, éstos se mantendrán después largo tiempo. Pero para formar los rizos no basta con recibir aire caliente; para ello se utilizan los accesorios de la izquierda: éstos mantienen la forma del cabello bajo el flujo de aire caliente.





A la izquierda, un secador desmontado en un estuche de viaje. El estuche permite transportar más cómodamente este aparato que, montado, tiene la forma de una pistola compuesta por varios elementos. Más a la izquierda, un secador con gorro, que permite mantener constante la temperatura de secado.

Existen también los modelos profesionales, utilizados normalmente en las peluquerías. En estos modelos, el motor y el calefactor se encuentran incluidos en una base o peana que sustenta un gran casco de plástico rígido en forma de cúpula. En los modelos manuales, el motor se encuentra situado normalmente en el mango.

Mecanismos del secador de pelo El secador de pelo funciona siempre del mismo modo, independientemente de dónde esté situado su motor.

El ventilador, de metal o plástico, aspira el aire del exterior al interior del secador. En el conducto por el que pasa el aire se encuentra el calefactor, una resistencia eléctrica que lo calienta por contacto. Lo más frecuente es que un secador disponga de dos resistencias, una grande y otra pequeña, que pueden funcionar alternativa o simultáneamente.

Cuando el interruptor se encuentra en la posición de poco calor, se conecta la pequeña; si la posición elegida es la intermedia, se conecta la grande; en la posición de máximo calor funcionan las dos a la vez. En la posición de aire frío, únicamente funciona el ventilador, mientras que las resistencias se mantienen apagadas. La mayor parte de los secadores ha sido diseñada para que no se pueda encender la resistencia si no se ha conectado antes el motor, evitando así que el aparato se funda por exceso de calor.

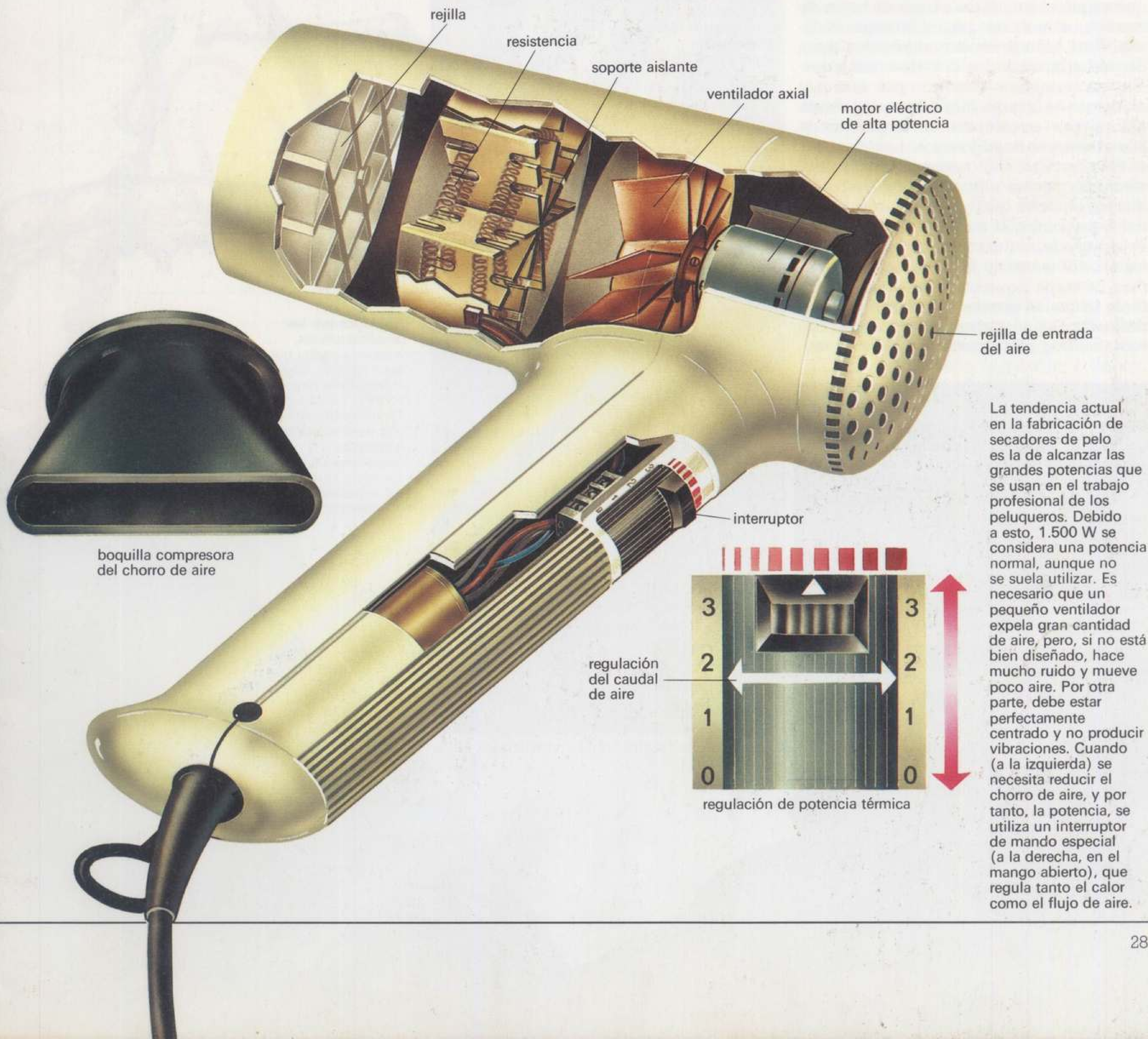
Los secadores poseen además un dispositivo de seguridad que impide el recalentamiento: se trata del termostato. Cuando la temperatura en el interior de la carcasa alcanza un valor peligrosamente alto —por ejemplo, cuando se ha obstruido el paso del aire o cuando el aparato permanece encendido demasiado tiempo— el termostato corta la corriente automáticamente, desconectando el secador.

El problema del amianto Los reiterados esfuerzos de los fabricantes para proteger adecuadamente del calor la carcasa exterior de los secadores de pelo, evitando así que ésta pudiera fundirse, causaron uno de los mayores escándalos de la historia de estos pequeños electrodomésticos, viéndose obligados incluso a retirar grandes partidas del mercado.

En 1979, algunas asociaciones de defensa de los consumidores descubrieron que varios modelos de secadores de pelo contenían pantallas térmicas y revestimientos internos de amianto —conocido cancerígeno y causante de algunas enfermedades pulmonares—. A partir de ese momento, y como consecuencia de la presión ejercida por la opinión pública, los fabricantes se vieron obligados a publicar listas con los modelos que contenían amianto, retirándolos del mercado, y muchos de ellos ofrecieron a sus clientes pantallas térmicas y revestimientos que no contenían sustancias tóxicas, en sustitución de los primitivos.

Salvado el problema, hoy en día el único riesgo que se corre al utilizar un secador de pelo es el de aportar una excesiva sequedad al cabello, inconveniente fácil de subsanar si se lava con un champú adecuado.

Véase **Asbesto; Termostato**



La tendencia actual en la fabricación de secadores de pelo es la de alcanzar las grandes potencias que se usan en el trabajo profesional de los peluqueros. Debido a esto, 1.500 W se considera una potencia normal, aunque no se suela utilizar. Es necesario que un pequeño ventilador expela gran cantidad de aire, pero, si no está bien diseñado, hace mucho ruido y mueve poco aire. Por otra parte, debe estar perfectamente centrado y no producir vibraciones. Cuando (a la izquierda) se necesita reducir el chorro de aire, y por tanto, la potencia, se utiliza un interruptor de mando especial (a la derecha, en el mango abierto), que regula tanto el calor como el flujo de aire.

Seda

Según una antigua leyenda china, este pueblo conocía el arte de producir la seda desde el año 2640 a. de C., pero consiguió custodiar celosamente el secreto durante siglos, sobre todo a partir de la promulgación de un decreto que castigaba con la pena de muerte a quien divulgara esos conocimientos fuera del país. Japoneses y europeos intentaron repetidamente arrebatar el secreto a los chinos, pero no lo consiguieron hasta el año 300, cuando cuatro concubinas chinas llegadas a la corte japonesa difundieron sus conocimientos sobre la cría del gusano de seda y la fabricación del tejido. Unos doscientos cuarenta años después, dos monjes enviados a China por el emperador bizantino Justiniano consiguieron regresar con algunos huevos de gusanos de seda y varios esquejes de morera escondidos en bastones huecos.

El gusano de seda Los métodos de producción de la seda apenas se han modificado desde aquellos tiempos. El elemento principal es el gusano de seda, una delicada larva de unos 6 cm de longitud que requiere una dieta a base de hojas de morera, un lecho de paja y atentos cuidados. Aun cuando existen diferentes tipos de sedas producidas por diversas especies de gusanos —e incluso por arañas y moluscos—, la mejor fibra de seda, la seda natural por excelencia, es la producida por el gusano *Bombyx mori*.

El ciclo vital del gusano de seda atraviesa por varias etapas. Del huevo nace una joven larva que tarda algo más de un mes en alcanzar la madurez. A lo largo de este período, el gusano consume cerca de treinta mil veces su peso en hojas de morera. La etapa siguiente, o de crisálida, durante la cual el gusano de seda teje un capullo en el que permanecerá encerrado hasta su completa metamorfosis en mariposa, es crucial para la producción de la seda. Poco antes de iniciar el capullo, el gusano deja de comer, se adhiere a las pajas del lecho y comienza a segregar, por un par de glándulas que posee junto a la boca, dos filamentos, o *fibrillas*, que, según emergen, se van uniendo, formando una fibra única gracias a una sustancia gomosa llamada *sericina*. En el plazo de aproximadamente tres días, el gusano de seda queda totalmente envuelto por el ca-

mariposa

huevos fecundados

salida de la larva

crisálida

gusano

ninfa

hilos

A la derecha, ciclo completo de la reproducción del gusano de seda. Los huevos precisan una incubación de 15 días a una temperatura de 25 °C como mínimo; al término de su desarrollo, la larva cesa de nutrirse y comienza a encerrarse en el capullo. La hebra de seda es producida por un complejo de glándulas (derecha). El sistema de extracción de la fibra de seda del capullo es accionado mecánicamente: en la página siguiente, arriba, un sistema de extracción ideado de forma que quede asegurada la continuidad del hilado de los capullos a medida que éstos se van agotando. La ampliación al microscopio de luz polarizada de una muestra de seda cruda (página siguiente, en el centro) evidencia la compleja trama de los hilos tejidos.





Durante los siglos I y II, cuando el gusano de seda aún era desconocido en Europa, el tejido era importado de China a través de un itinerario conocido como la Ruta de la seda (abajo). Sumamente activa también desde la antigüedad era la ruta marítima por la que llegaban a Europa las especias de Oriente. Debían de ser intercambios intensos y económicamente importantes, si se tienen en cuenta los innumerables esfuerzos militares realizados por las dinastías chinas, y especialmente por la de los Han, para conseguir la hegemonía sobre la cuenca de Tarim, actuando como intermediarios los Seres, habitantes indoeuropeos de los oasis. Con la caída del imperio de los Han se interrumpe el comercio a causa de la presencia de nómadas que asaltaban la Ruta de la seda. A la izquierda, selección de capullos en China (grabado del antiguo texto *Cría del gusano de seda*, Biblioteca Municipal de Poitiers); en la página siguiente, abajo, telar de seda actual.

pullo así formado. Industrialmente, es en este momento cuando el capullo debe ser tratado con vapor para matar al gusano, que de otro modo rompería la larga fibra de seda (720-1.170 m) al término de su metamorfosis. Sin embargo, se permite que algunos gusanos continúen su proceso hasta el estadio de mariposa, con el objeto de asegurar la reproducción. Una vez fuera del capullo, las mariposas se acoplan en un período de tres días y, después de haber puesto los huevos, mueren.

Producción del hilo de seda El primer paso en el proceso de producción del hilo de seda es exponer al aire los capullos con el fin de secar las crisálidas muertas en su interior. Después, los capullos se sumergen en un baño de agua caliente con objeto de reblandecer la masa compacta formada por las fibras endurecidas. Tras este paso, expertos operarios devanan el capullo. Como una sola fibra de seda es demasiado delicada y sutil, varias de ellas (entre 6 y 8) se unen según van saliendo del capullo, sometiéndolas a una fuerte torsión cuando aún están calientes, con lo que se consigue un hilo más compacto.

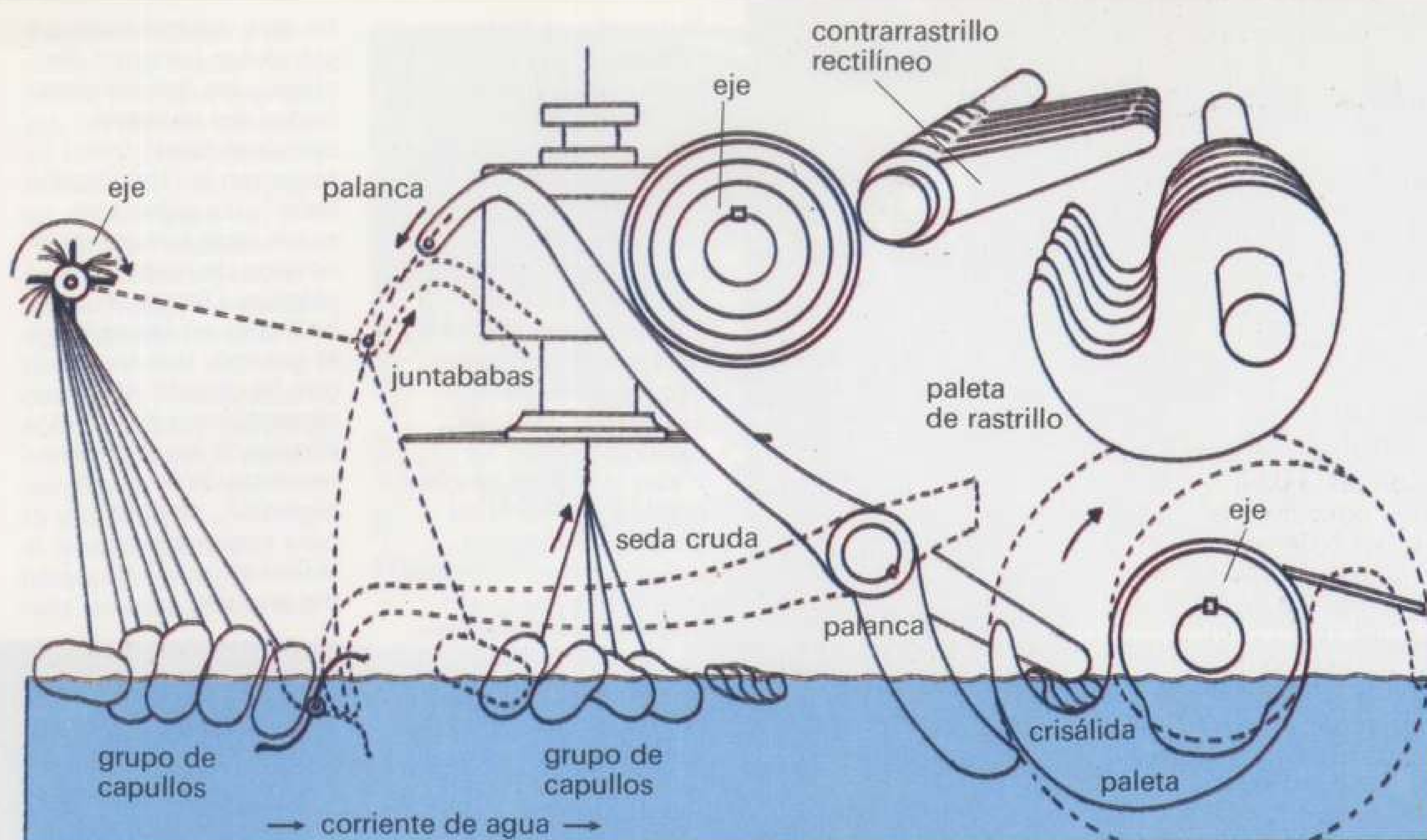
Aunque este hilo ya puede utilizarse para tejer, lo normal es que se enrollen y retuerzan varios hilos juntos para obtener así una mayor consistencia antes de ser tejidos. La seda que se usa en tapicerías y visillos precisa aún mayor resistencia y, para obtenerla, los hilos se enroscan en direcciones opuestas. El hilo grueso formado mediante este proceso se denomina *torzal*. El *douppion* (del término italiano *doppio*, doble) es un hilo nudoso y más bien tosco, obtenido de un capullo que ha sido tejido por dos gusanos simultáneamente.

Sólo aproximadamente la mitad de la seda que forma un capullo es lo bastante lisa y uniforme como para poder conseguir de ella un hilo resistente y de calidad. El resto es hilado directamente, lo que disminuye su lustre y consistencia, además de abaratar su precio. No obstante, la seda hilada debe ser etiquetada como tal.

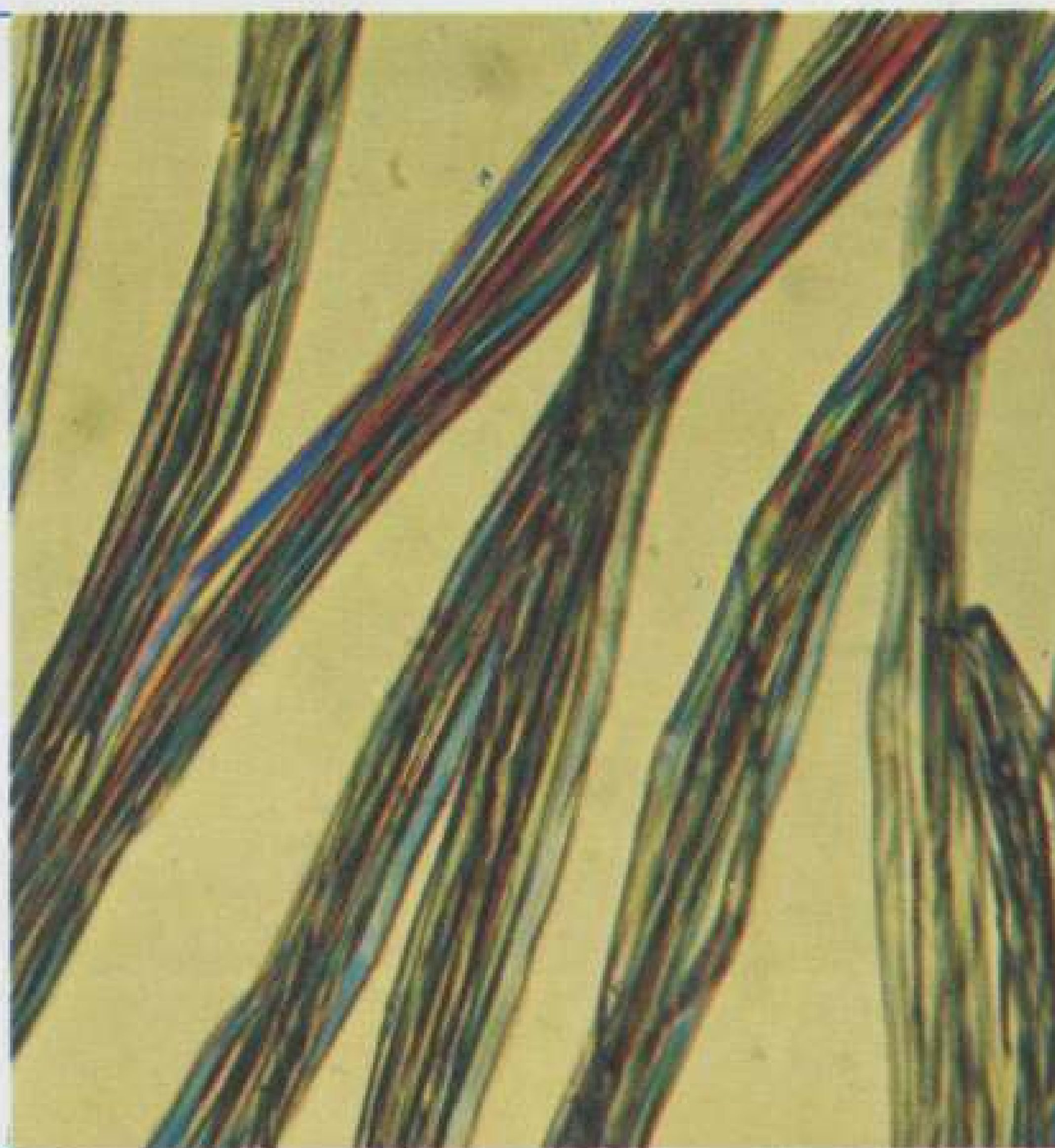
La seda puede ser tejida con arreglo a muchos y variados esquemas. Por ejemplo, las corbatas suelen estar tejidas en diagonal. La seda se utiliza, además, como elemento base para tejidos finos y de alta calidad, como el raso, que presenta un derecho brillante y un revés mate, o el brocado, en el que además se entrelazan hilos de oro o plata.

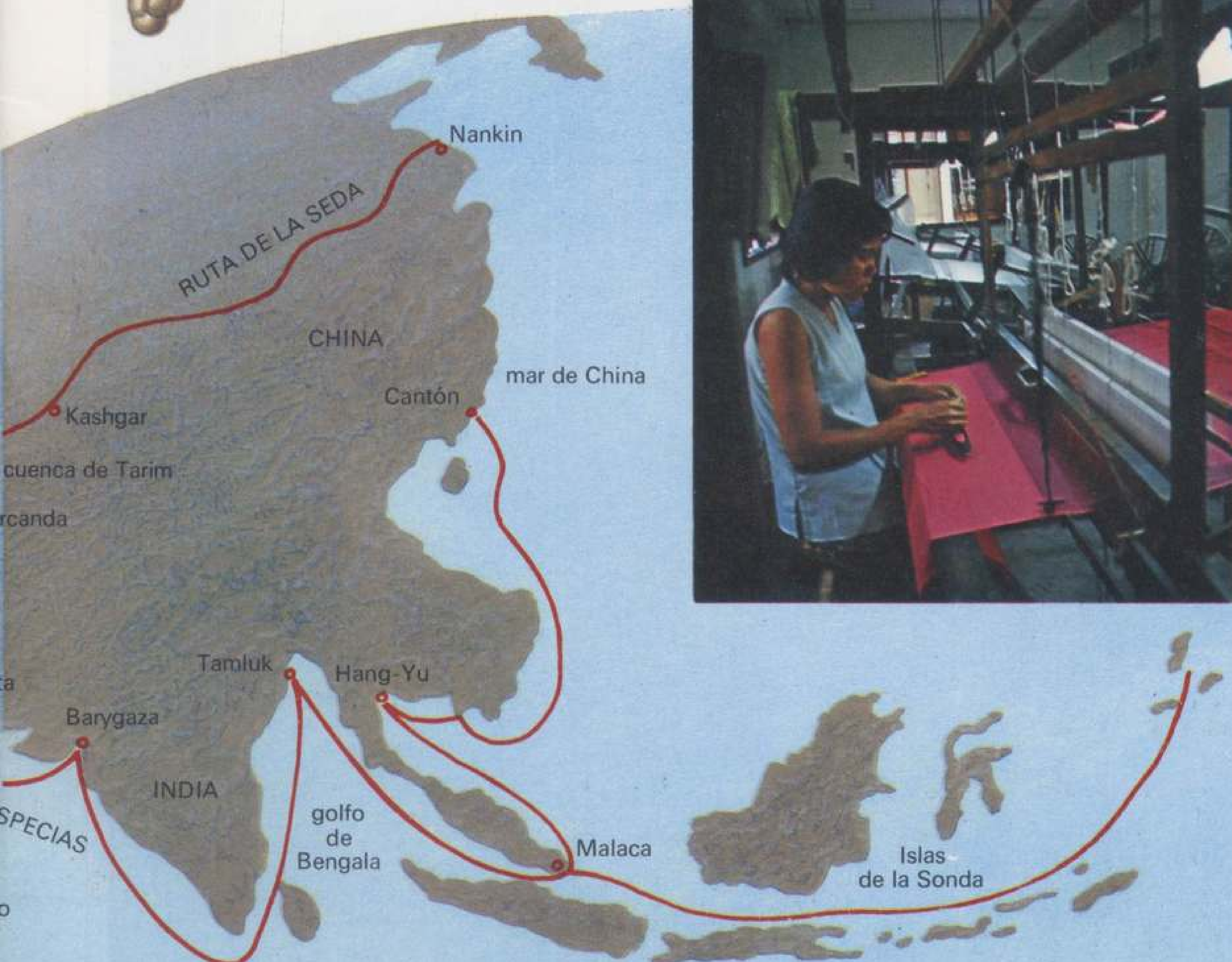
La seda es la más resistente de las fibras naturales. Aun siendo muy ligera, es más cálida y absorbente que el algodón, el lino o el rayón. Su gran capacidad para absorber la humedad la hace más receptiva al tinte, lo que permite conseguir una gama de colores imposible de lograr en otros tejidos. Todo esto, unido a su suave tacto, su bello aspecto y su facilidad de lavado y secado, hace que la seda siga siendo la "reina de las fibras naturales".

Véase **Hilados; Tejidos; Tejidos, fabricación de**

















Superada ya hace decenios la cría artesanal del gusano de seda (que se realizaba en el período mayo-junio en núcleos familiares campesinos), en la actualidad, la sericultura constituye una industria con modernas instalaciones, donde cada proceso es ejecutado del modo más racional, perfeccionado y con el menor empleo posible de mano de obra. La voracidad del gusano es increíble: debe ser alimentado cada dos horas (día y noche) con hojas de morera (arriba, a la izquierda, un cultivo); continuamente, los lechos de paja donde vive (detalle en el centro, a la izquierda) deben ser limpiados metódicamente de los excrementos y de los despojos de las mudas (el gusano cambia cuatro veces el tegumento, que va adecuándose de este modo al rápido crecimiento del cuerpo). Durante sus primeros días de vida, las hojas deben ser finamente trituradas; después se les da la hoja entera. Al cabo de un mes aproximadamente, el gusano lleva a cabo la última muda: en este momento se forman las dos voluminosas glándulas (ocupan, en efecto, las dos terceras partes del volumen corpóreo total) que segregan la "milagrosa baba"; las pajas son sustituidas por espesos ramitos de material plástico ("bosque" artificial) en los que el gusano, una vez que ha dejado de alimentarse y ha eliminado los últimos residuos de la digestión, se coloca para comenzar la elaboración del capullo.





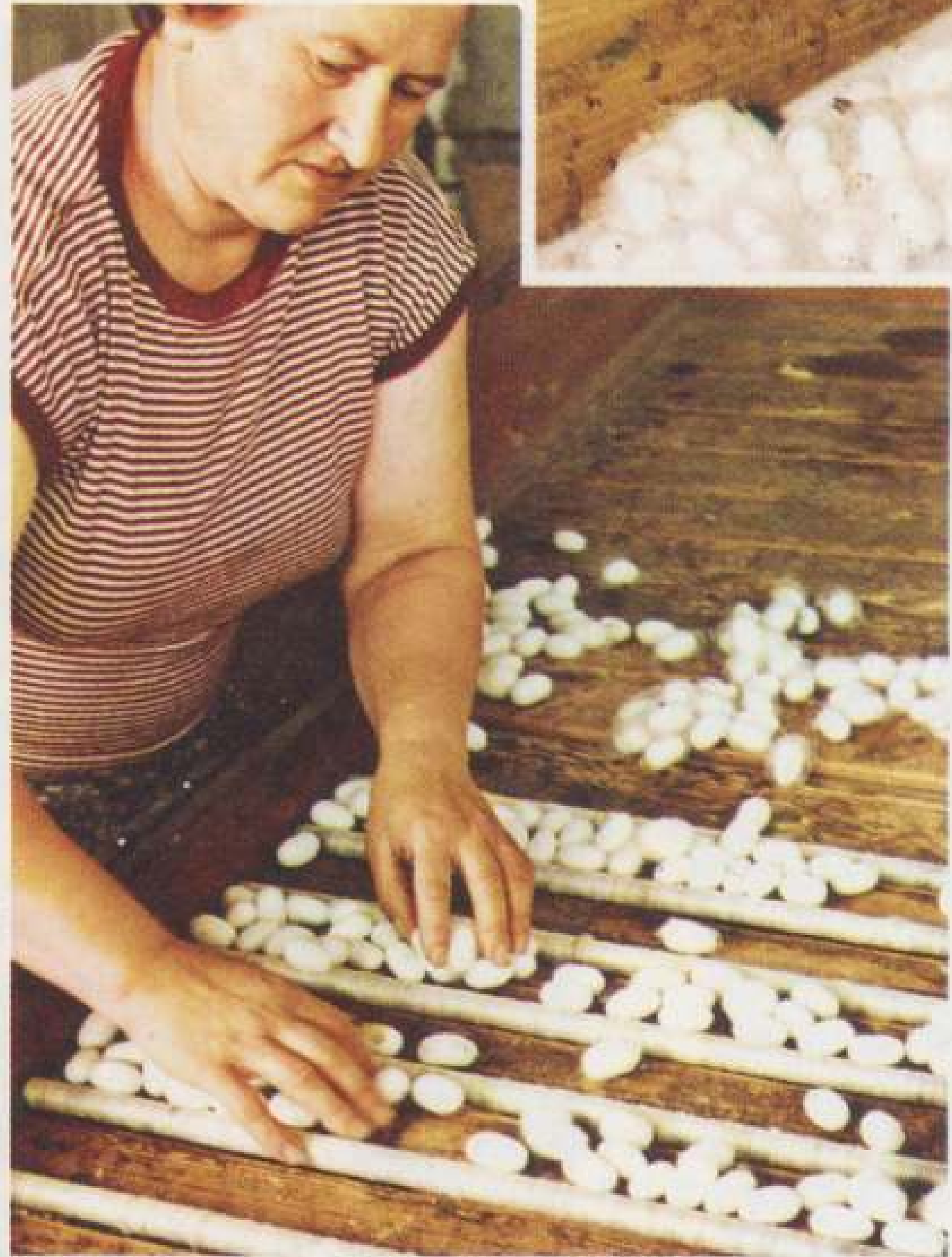
Enganchándose a un ramito por medio de un fuerte hilo que segrega por un orificio situado en las proximidades de la boca, el gusano fija en primer lugar los límites del capullo, moviéndose en todos los sentidos; después agita únicamente la parte anterior del cuerpo y, finalmente, sólo la cabeza (página anterior, abajo); para enrollar el hilo que lo encerrará, el gusano realiza presumiblemente más de trescientos mil





Angela Macaluso, instalaciones de Cassina Rizzardi, Como

movimientos con la cabeza. Las formas del capullo pueden ser diversas: ovales, redondeadas o con una estrangulación en el centro; asimismo, el color puede variar del blanquecino al anaranjado. Tanto el color como el espesor de su hilado deciden el valor de la seda que se obtendrá de ellos. La sustancia que une los hilos se llama sericina. Cuando los capullos están terminados (en el centro) tiene lugar su "recogida" (arriba): primero se sacan del enrejado los ramitos artificiales, y después se procede a desprenderlos definitivamente de su lugar con un rastrillo o peine especial (arriba, a la derecha). El calor seco de las estufas especiales (al lado) sobre las que son colocados provoca la muerte de la crisálida



(solamente es conservado un pequeño número de capullos para asegurar la producción de un nuevo ciclo): el capullo está listo para ser devanado mecánicamente (abajo). También se realiza mediante máquinas la selección de los capullos que contienen las crisálidas hembras, gracias a su peso superior al del macho. Al cabo de tres semanas tiene lugar la transformación en mariposa y el acoplamiento; los machos mueren inmediatamente después, y las hembras, encerradas a propósito en saquitos de papel agujereados, ponen antes de morir y en el transcurso de un par de días, varios centenares de huevos. El gusano de seda, criado y acostumbrado a los cuidados del hombre desde hace milenios, es incapaz de alimentarse en libertad, por lo que muere muy pronto.



Seguridad, sistemas de

Las lesiones y accidentes laborales pueden reducirse considerablemente si se adoptan las oportunas medidas de precaución. De hecho, desde que se vienen observando con mayor rigurosidad las reglamentaciones de seguridad, la media de accidentes laborales ha disminuido sensiblemente en la mayoría de los países industrializados.

Prendas de protección El empleo de prendas de protección adecuadas evita muchos tipos de lesiones. Los cascos de metal o de plástico antichoque protegen a los trabajadores de las posibles caídas de objetos. De hecho, en muchos centros de trabajo existen carteles que advierten a los trabajadores de la obligatoriedad de usar el casco en determinadas áreas.

Las gafas de seguridad protegen los ojos de las salpicaduras de productos químicos, de las esquirlas producidas por las muelas abrasivas y de las chispas que se producen al soldar los metales. Algunas gafas están dotadas de lentes oscuras para proteger los ojos del operador de la cegadora luz producida por los equipos de soldadura o de la reverberación del calor de los altos hornos.

En algunos trabajos industriales, como el de las acerías, los trabajadores deben protegerse totalmente con trajes incombustibles y cubrirse la cara con pantallas protectoras transparentes. En otras actividades, en cambio, sólo algunas partes del cuerpo necesitan de una adecuada protección. Los guantes, por ejemplo, son necesarios cuando metales fundidos, astillas, corrosivos químicos y otros materiales peligrosos pueden causar daños en las manos desnudas del operario.

Para algunos tipos de trabajo son necesarias las máscaras antigás y los equipos de oxígeno, como ocurre con los que se realizan en el interior de depósitos de almacenamiento y en grandes contenedores de basura, o cerca de material altamente tóxico, gas o productos químicos. También deben utilizarse máscaras en todos aquellos lugares donde existan o se produzcan partículas de materiales que puedan originar daños en el aparato respiratorio, como polvo, pintura nebulizada, etcétera.

Las instalaciones industriales Todos los centros de este tipo deben estar provistos de escaleras de incendios, ascensores de cierre automático y barandillas de seguridad alrededor de posibles aberturas en el suelo o máquinas peligrosas. Las áreas de trabajo deben estar ordenadas y limpias, y los pasillos han de ser amplios y despejados de obstáculos. Las instalaciones eléctricas deben estar diseñadas de modo que ofrezcan la máxima seguridad.

Puesto que el fuego siempre es un peligro latente, los centros deben estar provistos de alarmas y equipos antiincendios de ducha, o sistemas similares de protección, oportunamente instalados. Además, todas las salidas deben estar claramente señalizadas.

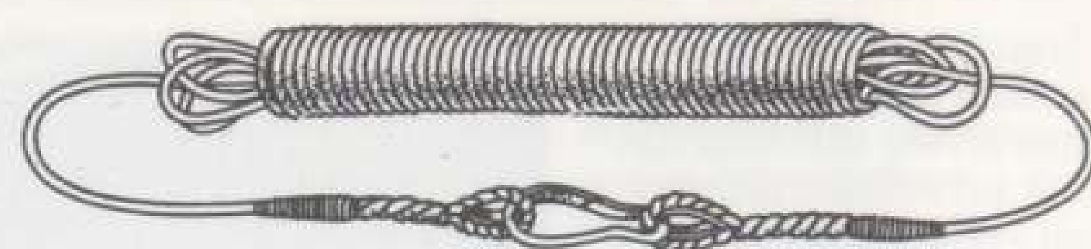
Productos químicos Muchos productos químicos son extremadamente peligrosos. Una gran cantidad de ellos son tóxicos, otros altamente inflamables, algunos explosivos y muchos pueden volverse tóxicos o incluso explosivos si se mezclan entre sí. Por supuesto, los operarios deben ser adiestrados previamente en el manejo de cualquier tipo de producto químico potencialmente peligroso.

Los productos altamente inflamables deben ser manipulados únicamente en áreas de seguridad, donde existan muros y techos incombustibles y, por supuesto, donde esté prohibido fumar. Los productos químicos deben ser protegidos de las chispas eléctricas, y todos aquellos productos inflamables que no se utilicen deben ser almacenados en contenedores antiinflamables, sellados herméticamente.

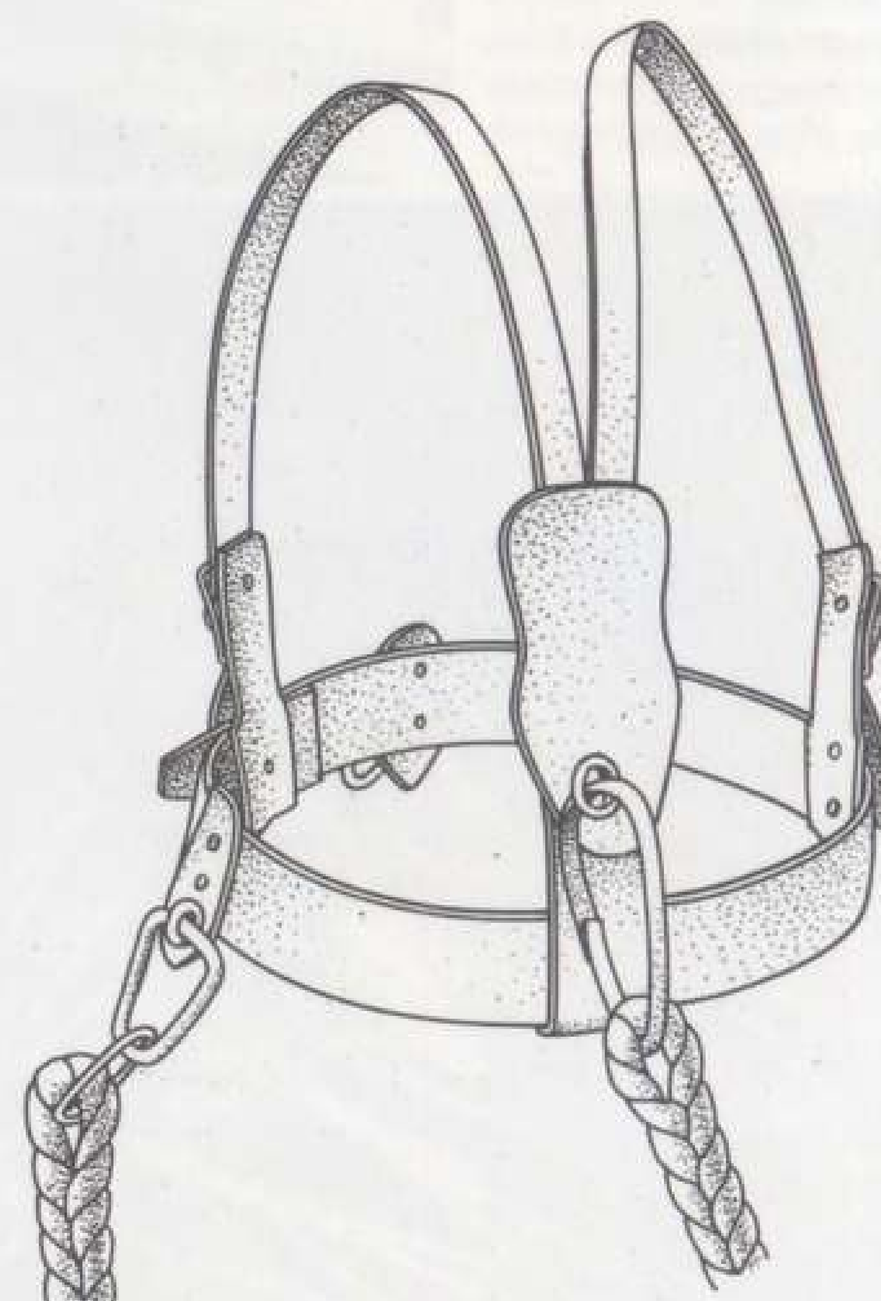
Los recipientes que contengan productos químicos tóxicos deben llevar una clara indicación exterior, y si son venenosos deberá constar el nombre del antídoto.

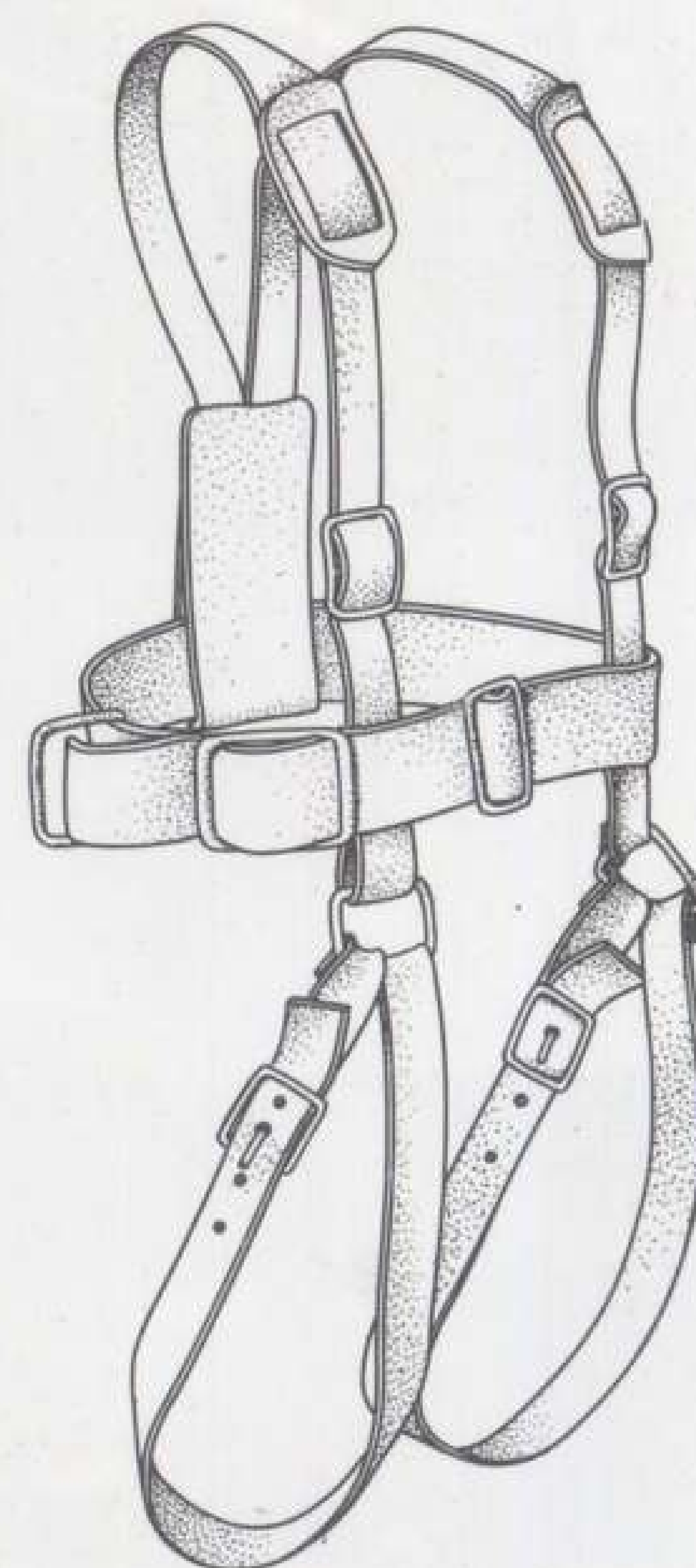
Sustancias radiactivas Las sustancias radiactivas son las más peligrosas de manejar. Precisamente por ello, por su extremado riesgo, la seguridad en los centros donde se trabaja con material radiactivo suele ser, en general, excelente. Los contenedores en los que se almacenan las sustancias radiactivas deben estar diseñados y construidos de forma que garanticen plenamente la carencia de fugas de radiaciones. Los trabajadores no pueden estar expuestos a materiales radiactivos o trabajar en contacto con ellos más que por un período limitado, ya que el efecto causado por estas sustancias se acumula en el organismo. Por otra parte, son necesarios diferentes tipos de controles y sistemas de seguridad y alarma en todas aquellas áreas en las que exista el más mínimo riesgo de fugas radiactivas.

Véase **Alarma y sistemas de seguridad; Seguridad industrial**



El trabajo en andamios o a grandes alturas comporta un alto riesgo de caídas, por lo que es necesaria una protección específica. Una simple cuerda, arriba, es más que suficiente si es lo bastante resistente y si el atalaje que se fija al cuerpo del trabajador es capaz, en caso de caída, de aguantar el tirón de frenado; abajo, dos tipos de atalajes en tela y cuero.







radiaciones peligrosas



materias inflamables



alta tensión peligro de muerte



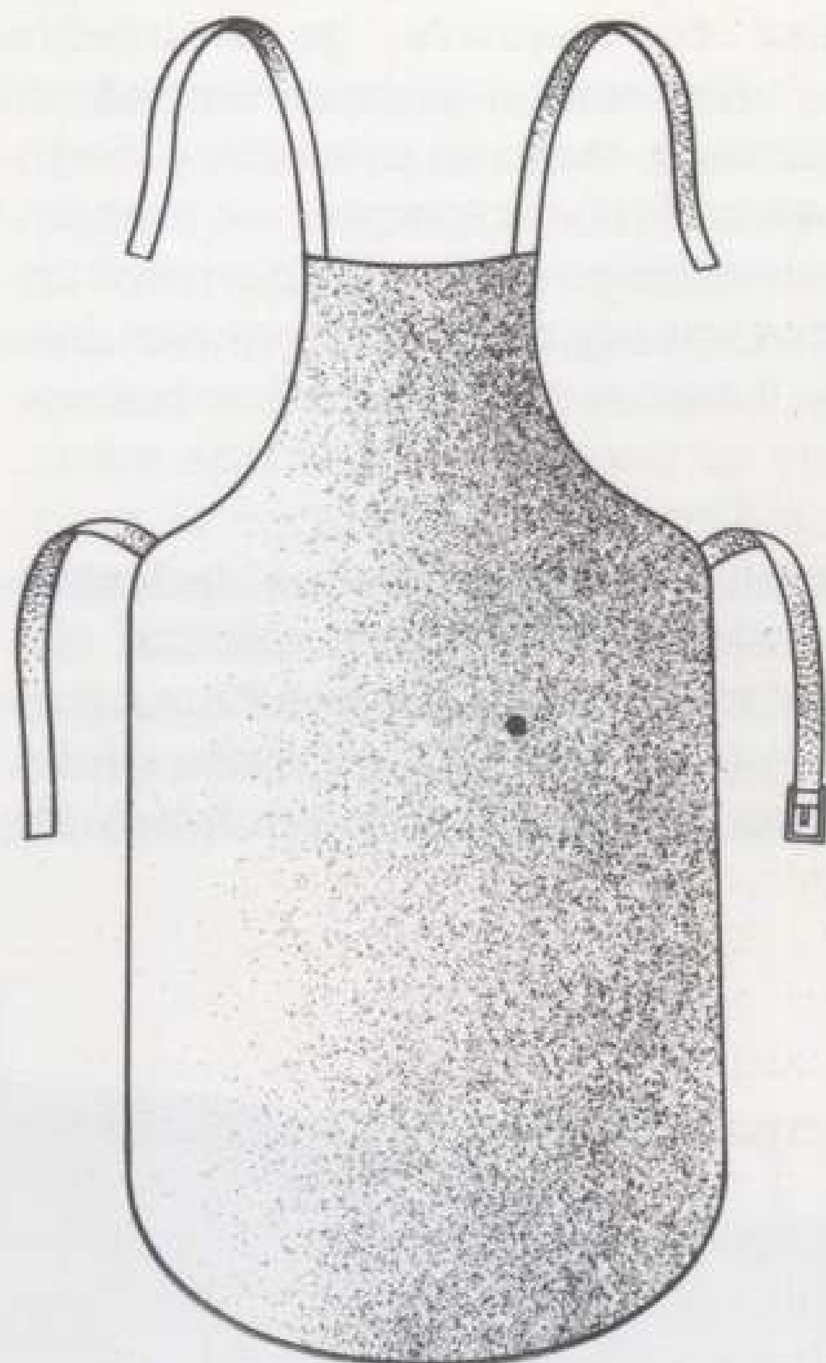
atención líneas eléctricas



peligro aplastamiento de manos

Abajo, un delantal diseñado para proteger el cuerpo de las radiaciones ionizantes, como los rayos X. Está fabricado con una tela engomada que contiene plomo. A la derecha, guantes de plástico fino para proteger las manos de sustancias corrosivas.











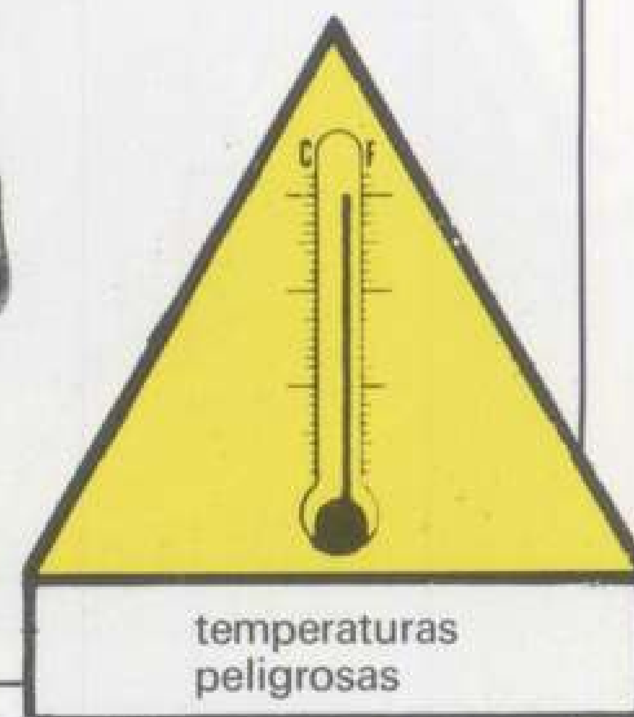
El trabajo con gases tóxicos exige un vestuario especial (arriba, a la izquierda) capaz de proteger el cuerpo del operario. Dichas prendas, además, son capaces de suministrar aire filtrado u oxígeno (izquierda). A la derecha, un buzo de tela de amianto recubierto con aluminio reflectante, utilizado para proteger a aquellos que trabajan con materiales a altísimas temperaturas. Abajo, carteles que señalan los distintos tipos de peligros.











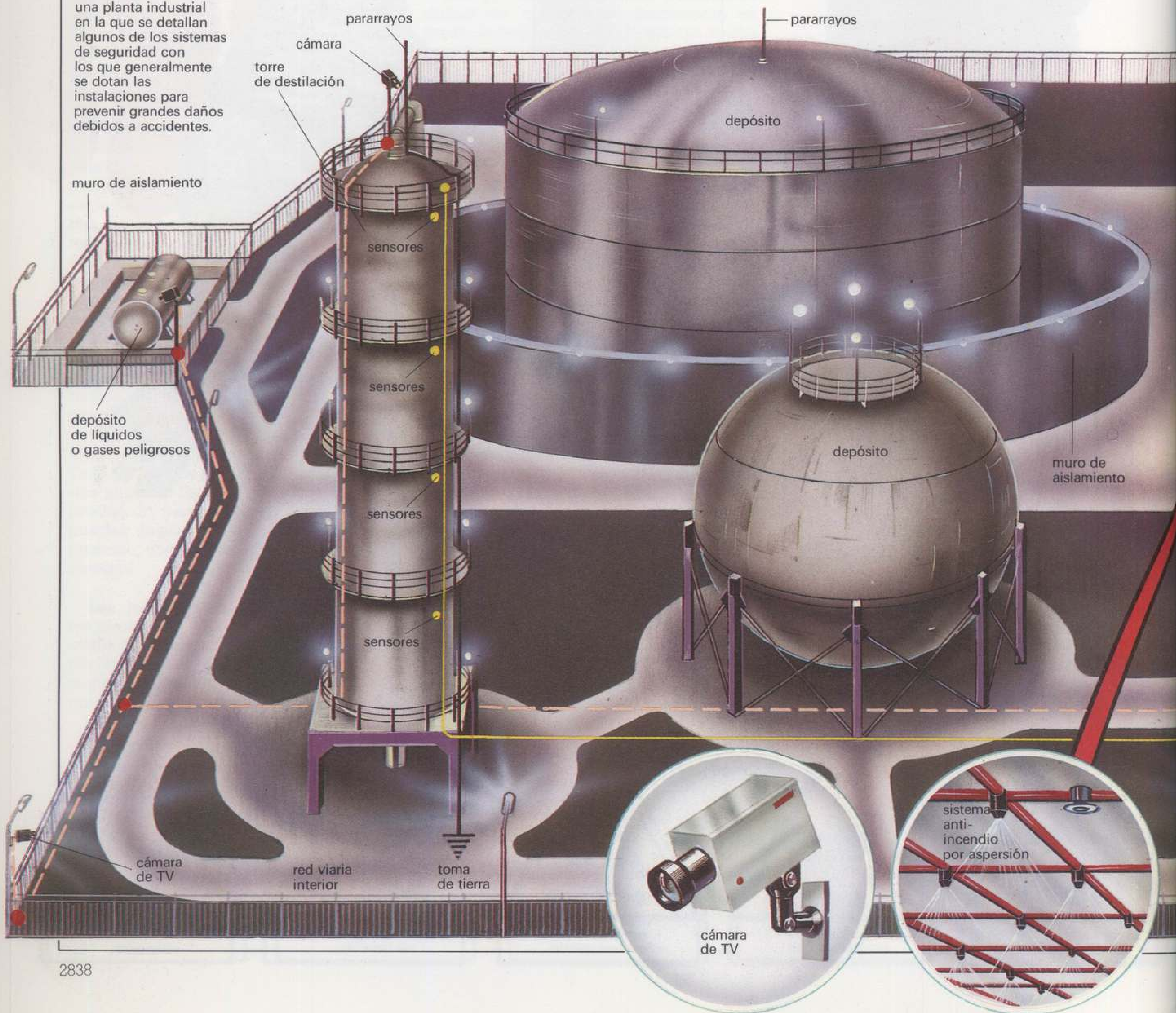
Seguridad industrial

Durante los siglos XVII y XVIII los deshollinadores ingleses consideraban como una enfermedad profesional lo que ellos llamaban "verrugas del hollín". No fue hasta 1775 cuando el médico inglés Percival Pott descubrió que el *soot wart* era un tumor maligno y una de las causas principales de la alta y prematura mortalidad existente entre los deshollinadores. Sin embargo, en aquella época la importancia del descubrimiento de Pott quedó empañada por el hecho de no poder aportar ninguna información sobre la causa verdadera de la enfermedad.

En 1876, Joseph Bell, el médico escocés en quien se inspiró Arthur Conan Doyle para crear el personaje de Sherlock Holmes, descubrió el origen de las verrugas del hollín. Bell constató que el carbón contenía aceite de esquisto, y desde el mismo momento en que supo que esta sustancia se empleaba mucho como lubricante en las manufacturas del algodón y comprobó que los hilanderos sufrían una enfermedad prácticamente idéntica a la de los deshollinadores, Bell dedujo que la causa de las verrugas del hollín era precisamente dicho aceite.

Afortunadamente, la labor de investigación necesaria para identificar los riesgos industriales no requiere, generalmente, cien años. Sin embargo, este incidente quedó marcado como el primero y, seguramente en muchos aspectos, el más importante en el largo camino recorrido hasta hoy para conseguir que las condiciones de trabajo sean seguras para los trabajadores.

Protección ante los riesgos industriales Cuando se demuestra que una sustancia es tóxica, la mejor solución es prohibir su uso (por ejemplo, el aceite de esquisto ya no se usa como lubricante). Sin embargo, teniendo en cuenta que ciertas sustancias o fenómenos, como las radiaciones, son indispensables en determinadas actividades, es fundamental encontrar la forma de proteger a aquellos que están expuestos a su efecto. Por ejemplo, los aparatos de rayos X siempre se usan en lugares cerrados, y las partes del cuerpo que no tienen que ser radiografiadas se protegen de las radiaciones. Por otra parte, las personas que por su trabajo se encuentran expuestas continuamente a radiaciones, deberían someterse periódicamente a revisiones médicas. En el caso de humos, vapores o polvos peligrosos, es necesario aislar el ambiente contaminado e instalar una buena ventilación, de forma que los que se encuentren en dichos lugares no respiren el aire contaminado. Los dispositivos de protección, tales como mascarillas, tapones para los oídos, guantes y trajes especiales deberían estar con-



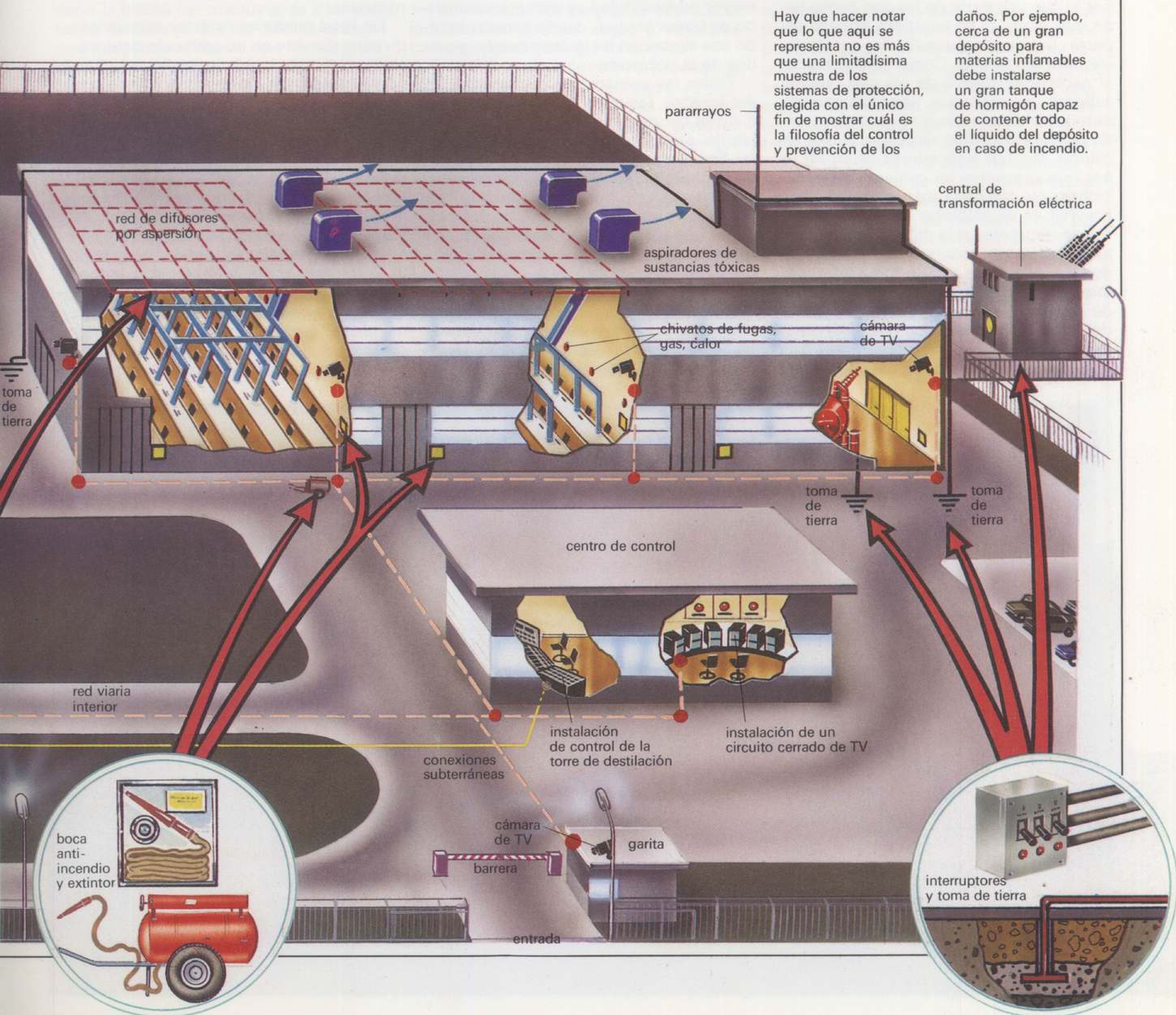
Idealización de una planta industrial en la que se detallan algunos de los sistemas de seguridad con los que generalmente se dotan las instalaciones para prevenir grandes daños debidos a accidentes.

siderados como una medida habitual de defensa y no como algo sin importancia. Muchas veces, estas protecciones son sólo eficaces en parte y, casi siempre, incómodas de usar, por lo que es frecuente que no se utilicen.

También ocurre a menudo que protecciones cuya eficacia está comprobada no se usan por negligencia u olvido. Por ejemplo, los operarios que trabajan con muelas abrasivas no siempre se ponen las gafas que los protegen de las esquirlas proyectadas por la máquina. Debido a ello es necesario que en las fábricas se lleve a cabo un control exhaustivo: en primer lugar, en las proximidades de los puestos de trabajo en los que exista peligro de proyección de esquirlas deben colocarse carteles que recuerden la obligatoriedad de utilizar gafas protectoras; en segundo lugar, junto a la máquina que hace necesaria su utilización, debe haber siempre, por lo menos, un par de gafas disponible, y, finalmente, es fundamental que unos inspectores controlen que, una vez cumplidos los requisitos anteriores, el trabajador emplea los medios de protección. Todo esto, referido en principio a un caso concreto, es también válido para cualquier otro dispositivo de protección.

La prevención Si bien la prevención de la salud es una rama de la medicina dirigida por expertos, de la seguridad y la prevención de los accidentes en un centro de trabajo son responsables todos aquellos que en él operan. La dirección debe aprobar y mantener un plan general para la seguridad en el trabajo, puesto a punto con la ayuda de expertos. Esto puede incluir un sistema racional de iluminación, un bajo nivel de ruidos y una disposición ordenada de las instalaciones, además de una revisión periódica de los aparatos y un profundo análisis de los incidentes que se produzcan. Es obvio, por otra parte, que es responsabilidad de cada trabajador seguir las normas de seguridad establecidas. Existen muchas organizaciones que tienen como misión identificar los riesgos industriales y establecer los niveles máximos de exposición a las sustancias potencialmente dañinas, estableciendo ciertos criterios prácticos para controlar el riesgo. La Comisión Internacional de Protección Radiológica y la Organización Mundial de la Salud son dos importantes ejemplos de este tipo de organizaciones. Además, los gobiernos de muchos países financian organizaciones análogas, como la OSHA (Occupational Safety and Health Administration) en EE UU, el ENPI (Ente Nazionale Protezione Infortuni) en Italia, y el Instituto Nacional de la Seguridad e Higiene en el Trabajo, en España.

Véase **Seguridad, sistemas de**



Hay que hacer notar que lo que aquí se representa no es más que una limitadísima muestra de los sistemas de protección, elegida con el único fin de mostrar cuál es la filosofía del control y prevención de los daños. Por ejemplo, cerca de un gran depósito para materias inflamables debe instalarse un gran tanque de hormigón capaz de contener todo el líquido del depósito en caso de incendio.

Selección natural

En 1859 Darwin publicó *El origen de las especies*, una obra en la que exponía su teoría de la evolución, atribuyendo el origen de las especies nuevas a la selección natural de las características más útiles para la supervivencia. Para este naturalista, el proceso de selección natural consta de tres etapas. La primera de ellas es la *producción de variabilidad*: los individuos de una determinada especie son diferentes entre sí y transmiten sus variaciones a sus descendientes. Darwin no supo explicar el fenómeno de la herencia y supuso que todas las variaciones que se producían en los organismos eran hereditarias, aunque más adelante se demostró que las mutaciones se eliminan, a medida que van apareciendo, por la selección.

La segunda parte del proceso sería la de la *supervivencia en la lucha por la existencia*. El número de individuos que nacen es mayor que el número de los que pueden obtener alimentos y sobrevivir, por lo que una parte de los que nacen tiene que morir: si no ocurriera así, una especie terminaría avasallando numéricamente a las demás. Como consecuencia, al nacer más sujetos de los que pueden subsistir, se establece una competencia debida a la escasez de algún factor necesario para la vida, como alimentos, pareja, territorio, etc. Los vencedores serán aquellos que presenten un conjunto de variaciones que los haga más aptos para sobrevivir en un ambiente determinado.

Los caracteres más útiles pueden estar asociados a una mayor fuerza del individuo o a una mayor resistencia a las enfermedades. En el caso de los vegetales puede ser, por ejemplo, una mayor superficie del ala de la semilla lo que posibilita el aumento de la dispersión. En realidad, lo más importante de la variación del carácter es que permita incrementar las probabilidades del organismo que lo posee de aportar descendientes.

En la tercera etapa, los caracteres con mayor adaptabilidad se van seleccionando de forma gradual, dando como resultado una alteración de la constitución genética de la población.

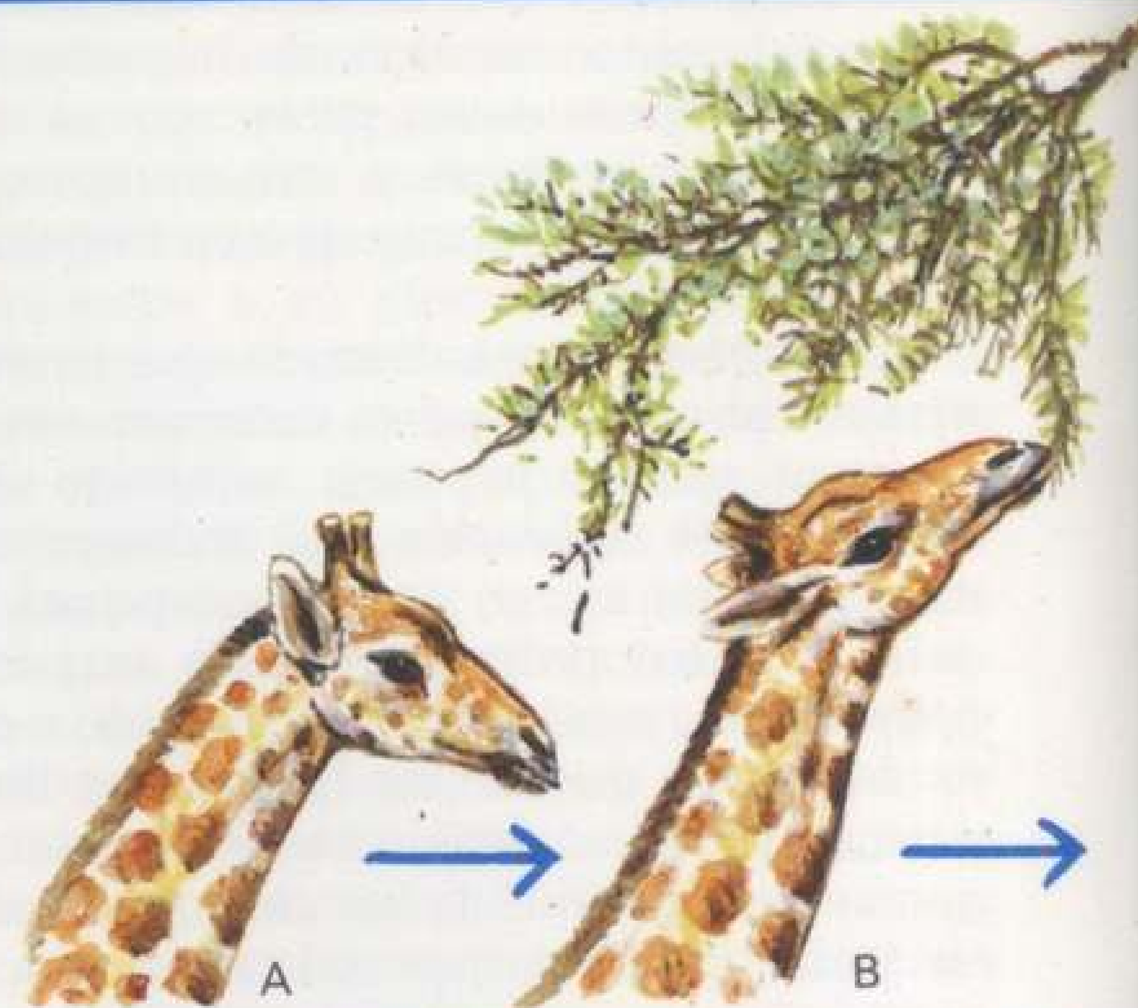
Todas las poblaciones, incluyendo las del hombre, los animales domésticos, los cultivos de campo y los cultivos de laboratorio, están sujetas a la selección natural. En las poblaciones naturales, el carácter variante es la aptitud en el sentido darwiniano; sin embargo, en las poblaciones domésticas es el criador o experimentador el que elige los individuos que deben reproducirse. Esto es selección artificial, si bien ambos tipos se basan en el mismo principio: el de las mutaciones.

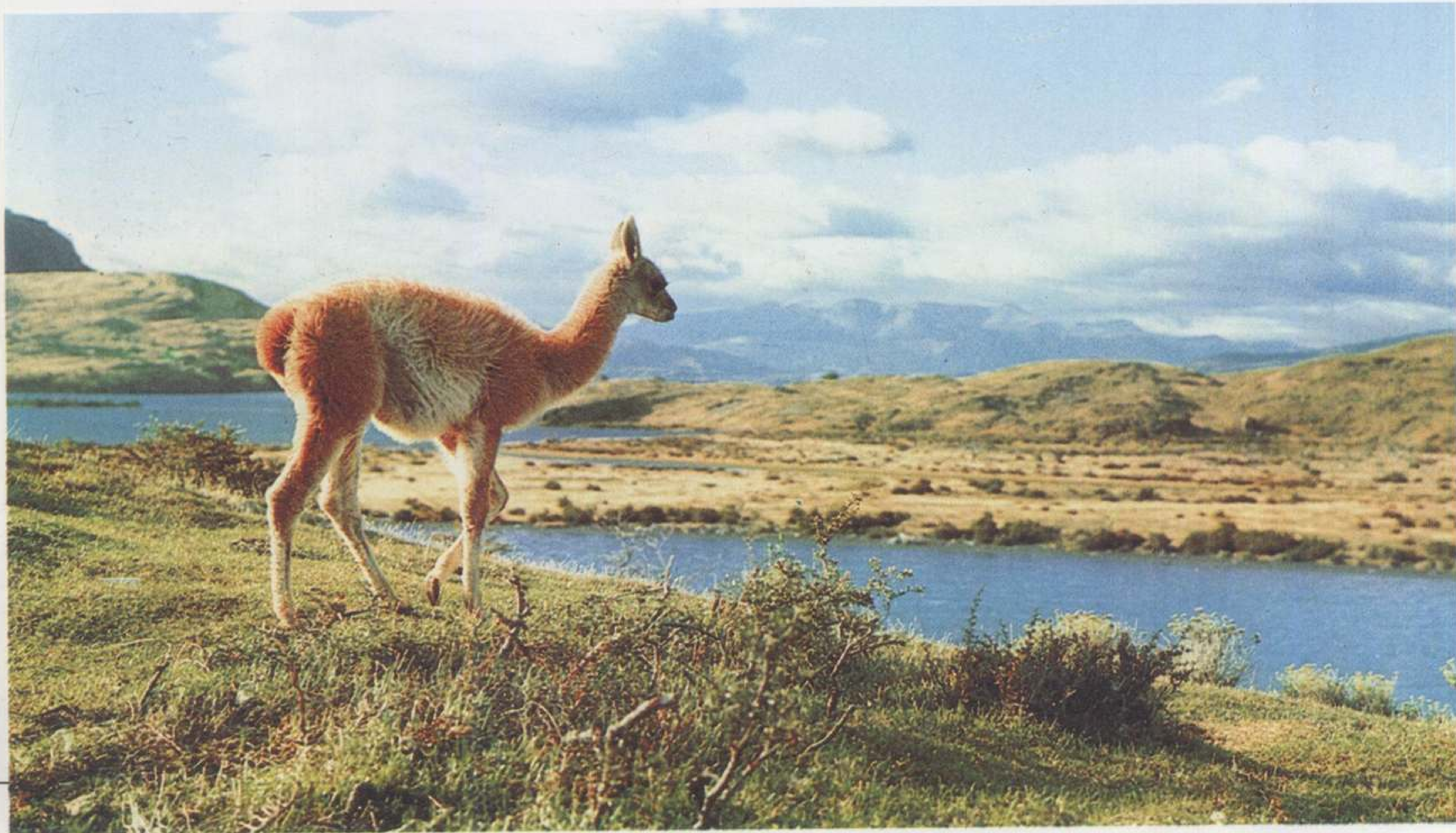
Con la selección artificial se consigue, por ejemplo, un mayor número de huevos en las puestas de las gallinas, un incremento en la producción de la leche de vaca, un mayor contenido en sacarosa de la remolacha, etc. Sin embargo, los caracteres seleccionados artificialmente pueden llegar a ser negativos en ambientes naturales.

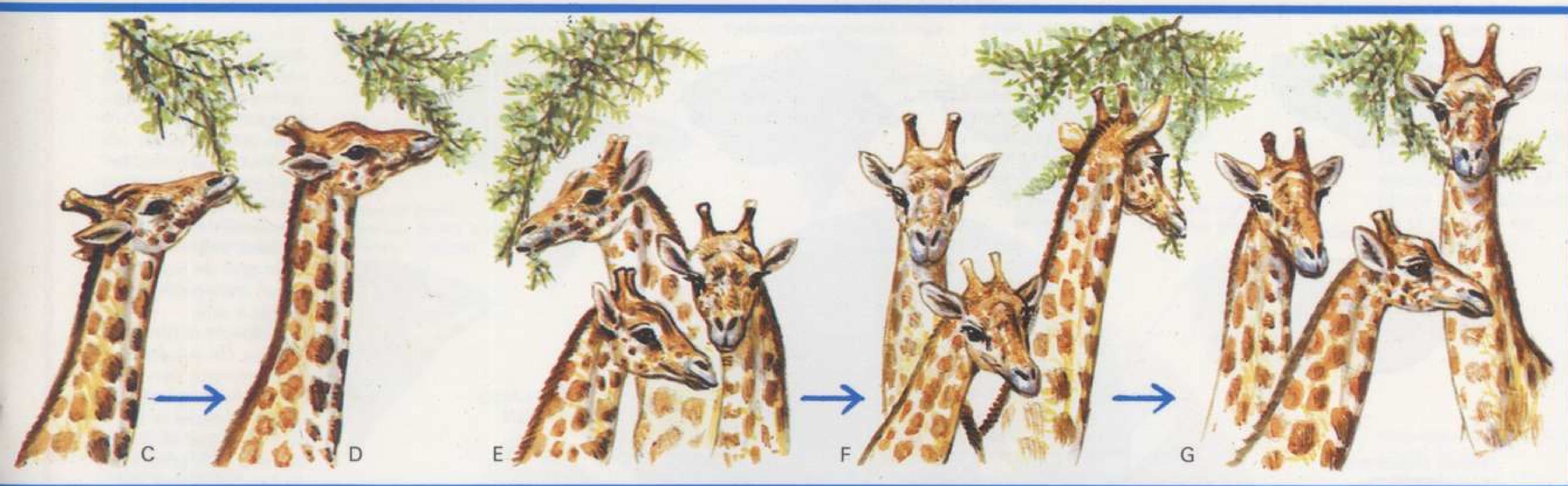
De igual modo, un carácter seleccionado naturalmente en un ambiente determinado, con unas condiciones físico-químicas concretas, puede dejar de ser adecuado en el supuesto de que las condiciones bajo las que se generó cambien.

Los factores que influyen en la selección natural La evolución del caballo constituye un excelente ejemplo de cómo ha sobrevivido una especie gracias a que su variabilidad genética le ha permitido ir modificándose al ir cambiando su ambiente. El *Hyracotherium* (o *Eohippus*), antepasado del caballo actual, vivió hace unos cincuenta o sesenta millones de años en un hábitat pantanoso, con gran cantidad de plantas de grandes hojas. El *Hyracotherium* tenía pies formados por cuatro de-

Según la teoría evolutiva de Lamarck, el cuello de la jirafa (A) se ha alargado en el transcurso de varias generaciones (B, C), debido a la necesidad de alcanzar las hojas más altas, obteniendo de esta forma abundante comida. La dimensión óptima (D) permite a la jirafa alimentarse tanto de las hojas bajas como de las altas, lo que aumenta sus posibilidades de supervivencia. Darwin, en cambio, propuso otra teoría que hoy día está universalmente reconocida, según la cual la selección natural es la que actúa favoreciendo la consolidación de un carácter determinado. En el grupo primitivo (E) había jirafas con cuellos de varias longitudes. Al estar favorecidas las jirafas de cuello largo (F), este carácter se ha transmitido de generación en generación con el resultado de un aumento general, aunque variable, de la longitud del cuello (G).





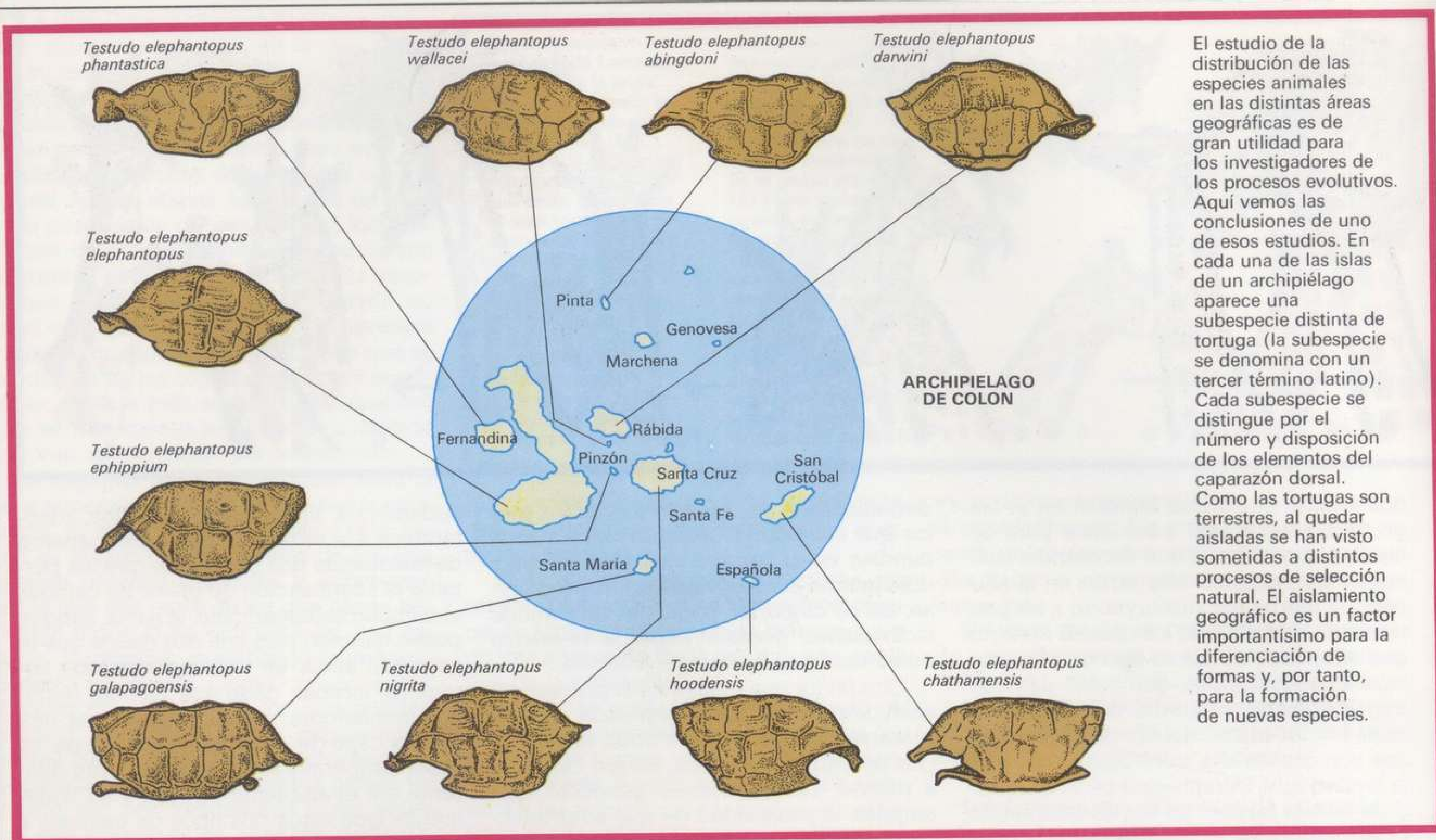


dos planos, que no se hundían en el fango, y dientes cortos adecuados para comer las hojas tiernas que encontraba fácilmente a su alcance. Más tarde, en el Mioceno, la hierba fue sustituyendo a los pantanos, de manera que los dientes tuvieron que adaptarse al nuevo tipo de alimentación. El *Meryohippus*, que como demuestran los fósiles procedía del *Hyracotherium*, era un animal dotado de dientes largos con corona alta, perfectos para pastar la hierba dura. Durante este período, a medida que el terreno se fue endureciendo, el *Meryohippus*, el *Neohipparion* y otros géneros intermedios entre los caballos antiguos y los actuales fueron reduciendo el número de dedos de sus pies hasta llegar a un solo casco. Pero estas variaciones no se impusieron de forma lineal. Las adaptaciones individuales se mantenían porque conseguían que la especie fuera más apta para los nuevos ambientes que se iban creando. Durante ciertos períodos, los dientes evolucionaron con bastante rapidez, mientras que en otros fueron los pies los que cambiaron. Los individuos que se hundían en el fango a causa de sus pies, difícilmente sobrevivían para reproducirse; así es como las pequeñas diferencias individuales pueden llegar a revelarse como enormes ventajas evolutivas.

Otro factor que influye en el proceso de selección natural es la migración. Al desplazarse de unas zonas a otras, unos grupos se cruzan con otros, lo que conduce a nuevas combinaciones genéticas que amplían la posibilidad de que se produzcan variaciones. Además, una nueva localización geográfica exige determinadas adaptaciones en el grupo recién llegado. Un ejemplo típico de lo que acabamos de decir es el camello. Los científicos sostienen que este animal se originó en América del Norte, y que, más tarde, algunos ejemplares se pasaron a Asia a través del puente de tierra firme que entonces existía en el estrecho de Bering, mientras que otros migraron hacia América Central y Sudamérica. En Asia, los camellos, adaptándose a la vida en el desierto, acabaron desarrollando dos jorobas, lo que les permitía la acumulación de grasa. En cambio, el camello sudamericano, la llama, aunque posee también pies con dos dedos que le permiten andar en terrenos arenosos, carece de jorobas, dado que vive en regiones montañosas, y está cubierto por una espesa capa de lana que le protege de las bajas temperaturas del altiplano. Tan diferente era el ambiente en Asia y en Sudamérica que estos dos tipos de camello, a pesar de provenir de un tronco común, se han convertido en dos especies distintas.

Sin embargo, no es necesario que las poblaciones animales estén separadas

La llama de Sudamérica (página anterior), sin joroba, y el camello asiático, con dos jorobas (abajo), descienden de un tronco común muy antiguo. Las dos especies tienen afinidades y diferencias, debidas éstas a su adaptación a distintos ambientes con distintas necesidades.



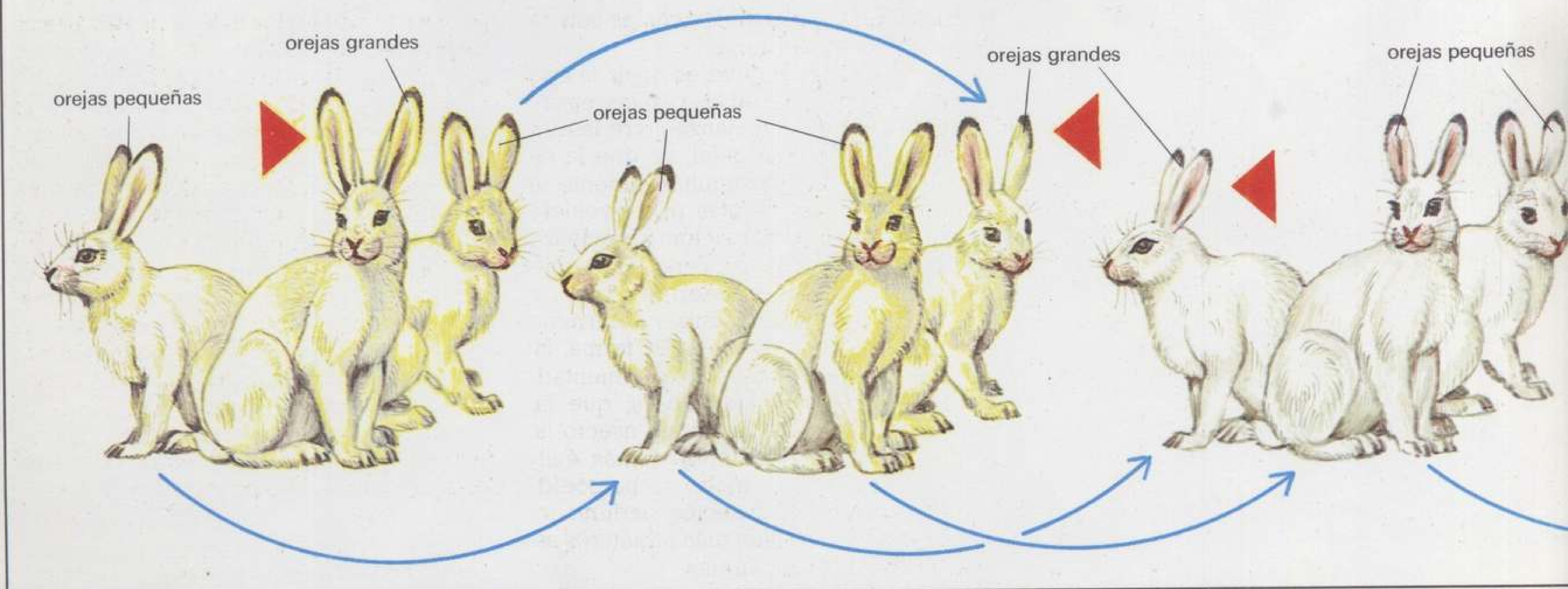
El estudio de la distribución de las especies animales en las distintas áreas geográficas es de gran utilidad para los investigadores de los procesos evolutivos. Aquí vemos las conclusiones de uno de esos estudios. En cada una de las islas de un archipiélago aparece una subespecie distinta de tortuga (la subespecie se denomina con un tercer término latino). Cada subespecie se distingue por el número y disposición de los elementos del caparazón dorsal. Como las tortugas son terrestres, al quedar aisladas se han visto sometidas a distintos procesos de selección natural. El aislamiento geográfico es un factor importantísimo para la diferenciación de formas y, por tanto, para la formación de nuevas especies.

por grandes distancias para dar lugar a especies distintas. Tomemos como ejemplo dos comunidades de ardillas que viven en la región del Gran Cañón del Colorado, en Estados Unidos. En la margen norte del Cañón habitan las ardillas Kaibab, que tienen largas orejas, vientre oscuro y cola blanca. En la margen sur se encuentran las ardillas Abert, con la cola gris y el vientre ligeramente pigmentado. Como las dos poblaciones están separadas por un río turbulento, no se pueden cruzar entre sí. Los ambientes en que viven son muy semejantes, pero las pequeñas variaciones que aparecen en sus pigmentaciones responden a las ligeras diferencias de sus hábitats respectivos.

Selección natural en los vegetales Ya hemos visto que los individuos más aptos son los que tienen más posibilidades de reproducirse; pero llegados a este punto, conviene resaltar las diferencias que existen entre las plantas y los animales, en lo referente a la reproducción, para entender mejor de qué forma tan diferente actúa la selección natural en el mundo vegetal respecto al mundo animal.

En primer lugar, las plantas son organismos bastante más sencillos que los animales; éstos, debido a sus órganos sensoriales desarrollados, ponen en marcha, cuando llega el momento de la reproducción, una serie de pautas de conducta que añade a la selección genérica del medio un factor específico de selección sexual. Así, por ejemplo, los ciervos macho que han conseguido superar las condiciones adversas del medio y han llegado a la época de la reproducción, pelean entre sí, de forma que sólo un pequeño número llegará a reproducirse. Además, existen complicados ritos y danzas nupciales que deben ejecutar correctamente.

En el mundo vegetal no existe nada de eso. Además, entre las plantas, la fertilidad no es una condición indispensable para la reproducción: también la reproducción vegetativa tiene gran importancia, lo que hace que algunas plantas híbridas estériles sean virtualmente inmortales. Por otra parte, existen muchas especies vegetales



En las islas Galápagos existen catorce especies de pinzones descendientes de un único predecesor (en el centro), que se han ido diferenciando, en función del tipo de alimentación, por la forma que han tomado sus picos. Darwin estudió a fondo estas → especializaciones de los modos de alimentación, obteniendo unos datos muy interesantes, que le sirvieron para formular su teoría de la selección natural, entendida como el factor más importante en el proceso de especialización.

Geospiza difficilis (insectos, gusanos, bayas)

Geospiza fuliginosa (semillas, flores, frutos; a veces, insectos)

Geospiza scandens (semillas, flores, néctar de cactos, insectos)

Geospiza fortis (semillas, flores, frutos; a veces, insectos)

Geospiza conirostris (semillas, flores de cactos)

Geospiza magnirostris (semillas, flores, frutos; a veces, insectos)

Platyspiza crassirostris (hojas, frutos)

Camarhynchus psittacula (insectos, bayas, hojas)

Pinaroloxia inornata (gusanos)

Certhidea olivacea (insectos)

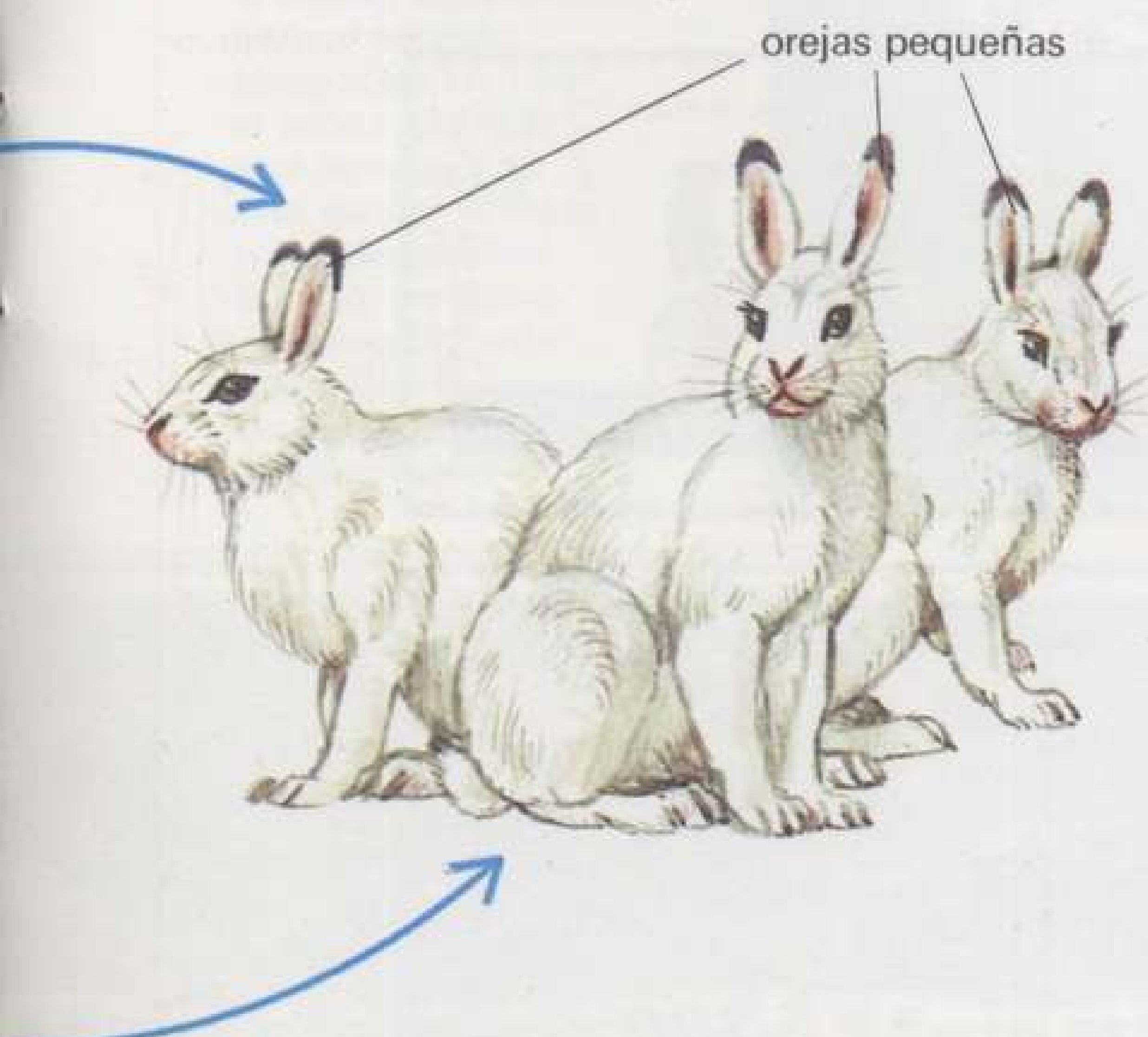
Camarhynchus pauper (insectos, bayas, hojas)

Cactospiza pallida (larvas de insectos)

Camarhynchus parvulus (insectos, bayas, hojas)

Cactospiza heliobates (insectos)

El hábitat de la liebre ártica (*Lepus articus*) exige una especial adaptación para combatir al máximo la dispersión del calor corporal. Los individuos de orejas pequeñas, en las que la superficie de intercambio calórico con el exterior está más reducida, se ven más favorecidos por la selección natural. El carácter "orejas pequeñas" se pone de manifiesto de una forma cada vez más acusada en las sucesivas generaciones.



hermafroditas, parte de las cuales son capaces de autopolinizarse.

La época reproductiva, es decir, la época de la polinización en las plantas, es uno de los puntos de semejanza entre la evolución animal y la vegetal, ya que la selección natural actúa simultáneamente en ambos reinos. Las plantas más evolucionadas tienen una adaptación especializada a los insectos polinizadores. Esto quiere decir que sólo una determinada especie de insecto puede polinizar determinada especie de planta. De esta forma, las plantas cuyas flores hayan experimentado modificaciones más ventajosas, que las hagan más aptas para que un insecto las polinice, son las que tendrán más éxito evolutivo. Del mismo modo, se ha podido comprobar que los insectos perfumados por las plantas resultan más atractivos sexualmente para sus parejas.

Los conocimientos más recientes acerca de la selección natural La selección natural puede funcionar de forma irregular, pero hay pruebas, a nivel molecular, que sugieren la existencia de otro mecanismo básico de la evolución que trabaja a un ritmo más regular. Muchos darwinistas contemporáneos se han mostrado reacios a aceptar esta posibilidad, pero el mismo Darwin, a pesar de que no estaba en condiciones de predecir los importantes descubrimientos científicos que se realizarían en el futuro, terminaba la introducción a la última edición del *Origen de las especies*, publicada aún durante su vida, con la siguiente frase: "Estoy convencido de que la selección natural es el principal medio de modificación, pero no el único."

Véase **Evolución; Evolución animal**

Sellos y franqueo

En mayo de 1840 se emitía en Gran Bretaña el primer sello de correos. Su vida es, pues, relativamente corta y, sin embargo, en estos casi ciento cincuenta años el sello se ha convertido en uno de los objetos de coleccionismo más solicitados. Ya en 1850, la filatelia (del griego *philos*, "amigo", y de *atelesis*, "franquicia"), disciplina que abarca el estudio y el coleccionismo de sellos, era un *hobby* prácticamente difundido por todo el mundo.

Desde entonces, la filatelia fue contando con un número creciente de adeptos, generalmente de las capas sociales altas. Actualmente, existen en todo el mundo más de cien mil variedades distintas de sellos, algunos de los cuales han llegado a alcanzar valores de decenas de millones de pesetas.

Tipos Suiza y Brasil fueron los dos primeros países que siguieron el ejemplo de Gran Bretaña en la emisión de sellos, esos originales adhesivos cuyo objeto es confirmar que la tasa postal ha sido pagada. Estados Unidos comenzó a emitirlos en 1847, y en 1850 fueron adoptados por España y el reino Lombardo-Véneto, extendiéndose después, sucesivamente, a los otros estados italianos.

Existen cuatro tipos fundamentales de sellos. Los más sencillos, llamados *ordinarios*, son puestos en circulación por las Administraciones centrales de correos para satisfacer las exigencias del servicio: son los sellos más baratos (en España, por ejemplo, oscilan entre las 6 ó 7 pesetas y las 100). Existen también sellos para *usos especiales*, como los utilizados en el correo aéreo, los de propaganda y beneficencia, para certificados, para paquetes, para diarios (hoy en desuso), y sellos de multa, que fijan el pago que deberá efectuar el destinatario por una carta o postal recibida por él sin franqueo o con franqueo insuficiente. De uso especial son también los sellos utilizados por el Estado para la correspondencia oficial; actualmente, en muchos países de todo el mundo, han sido sustituidos por un franqueo mecánico que facilita, por su rapidez, el envío de correspondencia, permitiendo incluso el cargo de las tasas al destinatario. Caídos en desuso, los sellos de correos oficiales son muy solicitados por los coleccionistas.

Otra gran categoría está representada por los sellos *conmemorativos* de algún acontecimiento histórico, científico, político o cultural, o emitidos en recuerdo de un personaje significativo; cuando las emisiones aparecen por las mismas fechas en





Los dos sellos de arriba recuerdan el tiempo de los mensajeros y los postillones, cuando el servicio postal actual no existía y la transmisión de las noticias era confiada a personajes como los mensajeros y, a partir de 1500, a los conductores de diligencias. Los primeros sellos presentaron algún inconveniente, como los tres *penny black* ingleses, de los que era fácil hacer desaparecer el timbrado, debido a su color excesivamente oscuro.



En 1700 la correspondencia que llegaba a las ciudades era ya intensa. A la derecha, arriba, la Oficina de Correos de París.







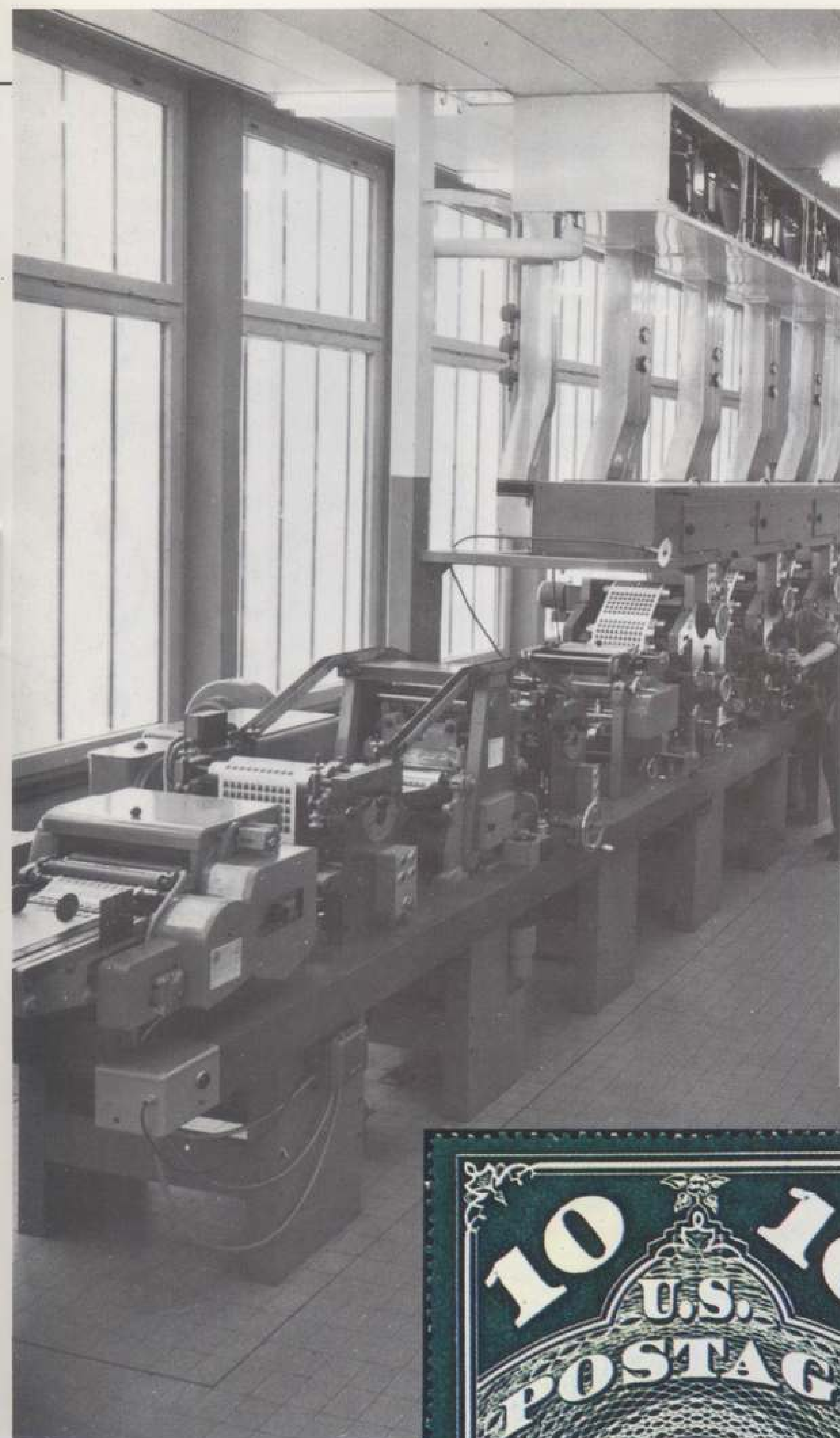


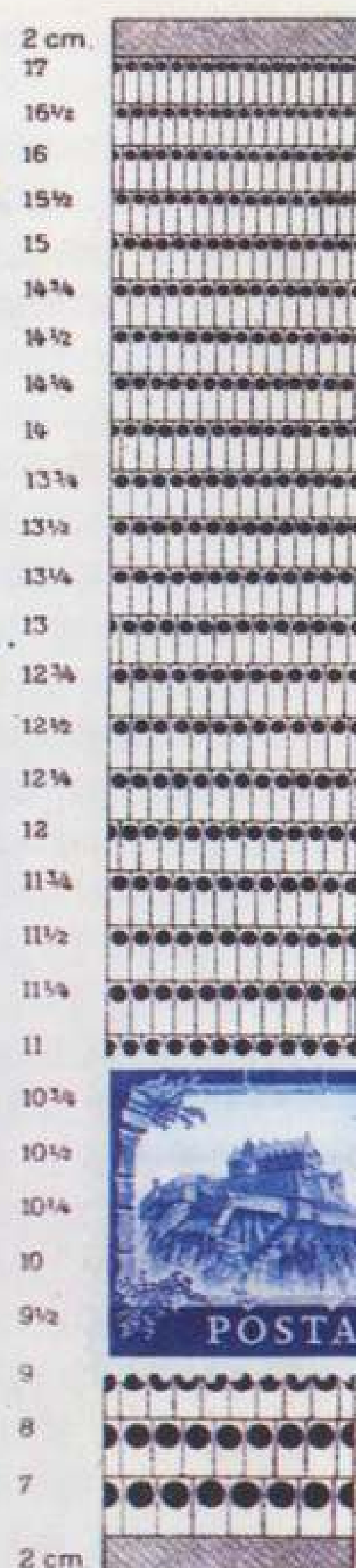














que ha tenido lugar el acontecimiento que se desea recordar (por ejemplo, una Olimpiada o una exposición comercial), los sellos se denominan *celebrativos*, aunque por su naturaleza entran dentro de la categoría de los conmemorativos.

A diferencia de los sellos ordinarios, los conmemorativos y celebrativos se emiten en series relativamente pequeñas y permanecen a la venta por un período limitado de tiempo. En general, son de mayor tamaño que los sellos ordinarios y, debido a sus bellos formatos, son los más solicitados, desde el punto de vista estético, por los coleccionistas.

En la actualidad, muchos estados, particularmente los más pequeños, emiten *series especiales* conmemorativas o referidas a diferentes temas (castillos, flores, etc.). Estos sellos, de gran belleza y elevado costo, aseguran a los países emisores buenos ingresos; a veces, ni siquiera se ponen a la venta normal, sino que se reservan directamente a los coleccionistas.

El papel utilizado para la estampación de los sellos puede ser de diferentes clases: el realizado *a mano* se elabora con procedimientos artesanales tradicionales, y puede reconocérsele por su superficie rugosa y sin refinar; en las emisiones ordinarias se suele utilizar un papel hecho *a máquina*.

El tipo de papel más utilizado es el satinado, siendo menos frecuente el papel con nervaduras, cuya superficie está atravesada por sutiles líneas, visibles sólo al trasluz. Se puede distinguir además el papel *liso*, que no tiene ningún signo particular; el papel *filigranado*, con señales más claras, que constituyen propiamente la filigrana, y el papel *rayado*, cuya superficie contiene gran cantidad de líneas muy juntas y paralelas entre sí.

El 25 de enero de 1968 comenzó a utilizarse en Italia el papel fluorescente o fosforescente con el fin de hacer posible la lectura de los sellos por las cabezas electrónicas de las máquinas de timbrado automático.

Véase **Clasificación postal automática**



El sello de mayor tamaño fue emitido por Estados Unidos en 1866. Las formas de los sellos pueden alcanzar una gran originalidad, como la del precioso sello en forma de águila real de Sierra Leona, estampado en oro, el hexágono del sello belga, perteneciente a la última serie emitida para el servicio telegráfico en 1897, el sello cuadrado que se apoya en uno de sus vértices o el sello de San Marino, en forma de triángulo, que reproduce el lanzamiento del discóbolo.

Los sellos se imprimen en hojas (arriba). En un principio, era necesario el uso de tijeras para separarlos, hasta que Henry Harcher realizó un descubrimiento que revolucionaba y agilizaba el proceso. Archer inventó la primera máquina perforadora de papel, que hacía pequeños agujeros entre un sello y otro: había nacido el dentado. Un sello puede presentar un número de "dientes" diferente del habitual, por haber sido dentado en distintos momentos con máquinas perforadoras diferentes, convirtiéndose así en un ejemplar raro. La cuenta minuciosa de los "dientes" de los sellos ha sido sustituida por el uso del odontómetro, una pieza de cartón, metal o plástico que sirve para medir el paso dentado. En la figura de arriba, una hoja con cuatro sellos unidos por un único texto que los enmarca.



En algunas ocasiones, ciertos motivos, sobre todo obras de arte, no se reproducen sobre un único sello, sino sobre varios, de forma que, juntándolos, se compone una serie. Surgen así trípticos o polípticos, como la serie que aparece a la izquierda, emitida en China en 1968.

Semiconductor

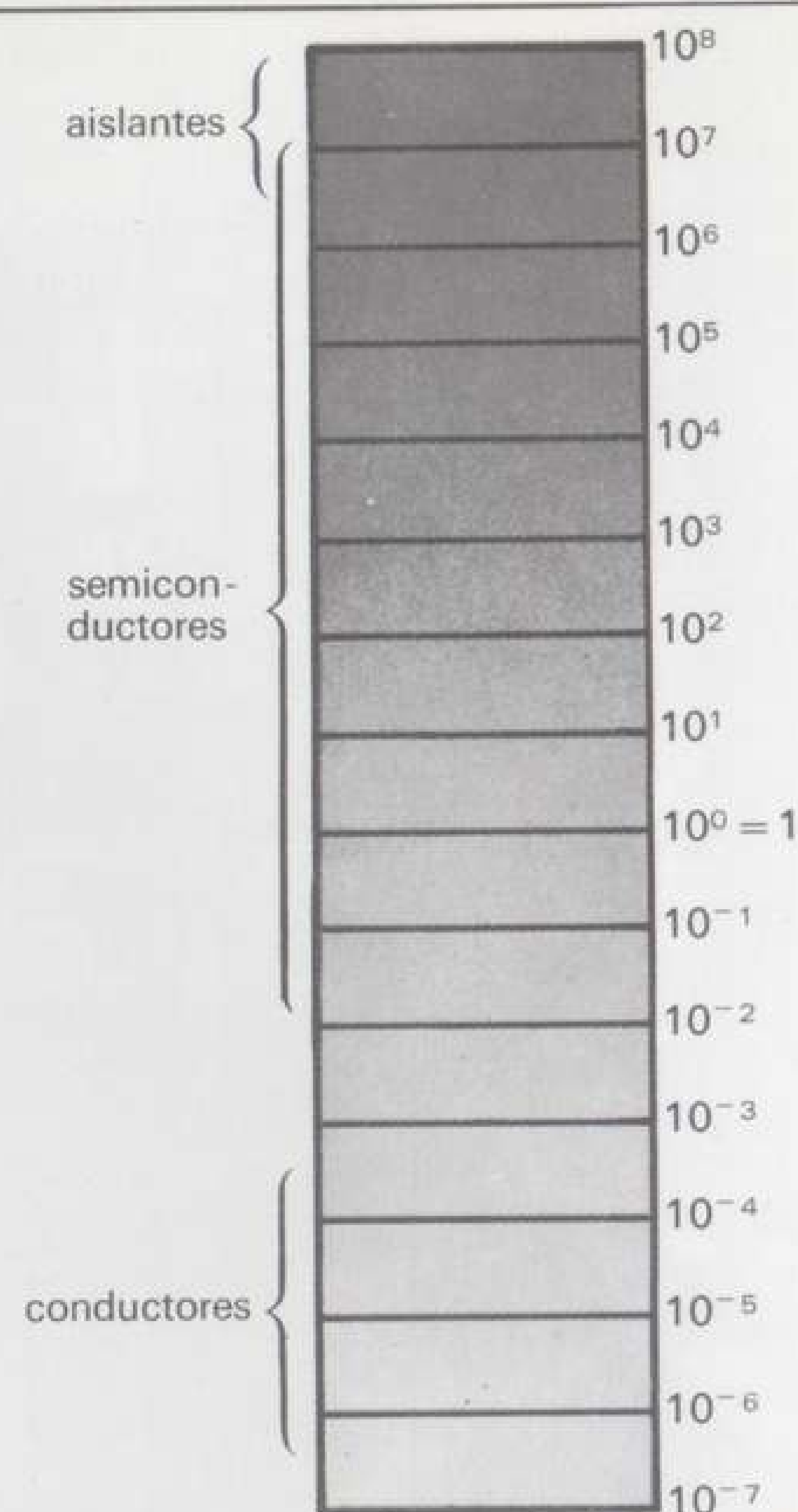
Antes de la II Guerra Mundial, los elementos semiconductores eran solamente una curiosidad de laboratorio. Sin embargo, en 1948, estos materiales se pusieron de actualidad por el descubrimiento que hicieron John Bardeen, Walter Brattain y William Schockley sobre la aplicación de los semiconductores en un nuevo y revolucionario campo de la electrónica: el transistor. Inmediatamente se hizo evidente que este hallazgo tendría consecuencias de gran importancia, y ocho años más tarde los tres científicos mencionados recibieron el Premio Nobel de Física.

Los materiales semiconductores conducen la electricidad peor que los metales pero mejor que los materiales aislantes. Su importancia radica en su aplicación en los dispositivos semiconductores, que son la base de la actual revolución en electrónica, óptica y otros muchos campos, desde los ordenadores y robots hasta los aparatos domésticos (televisores, equipos de música, etc.) y las células solares.

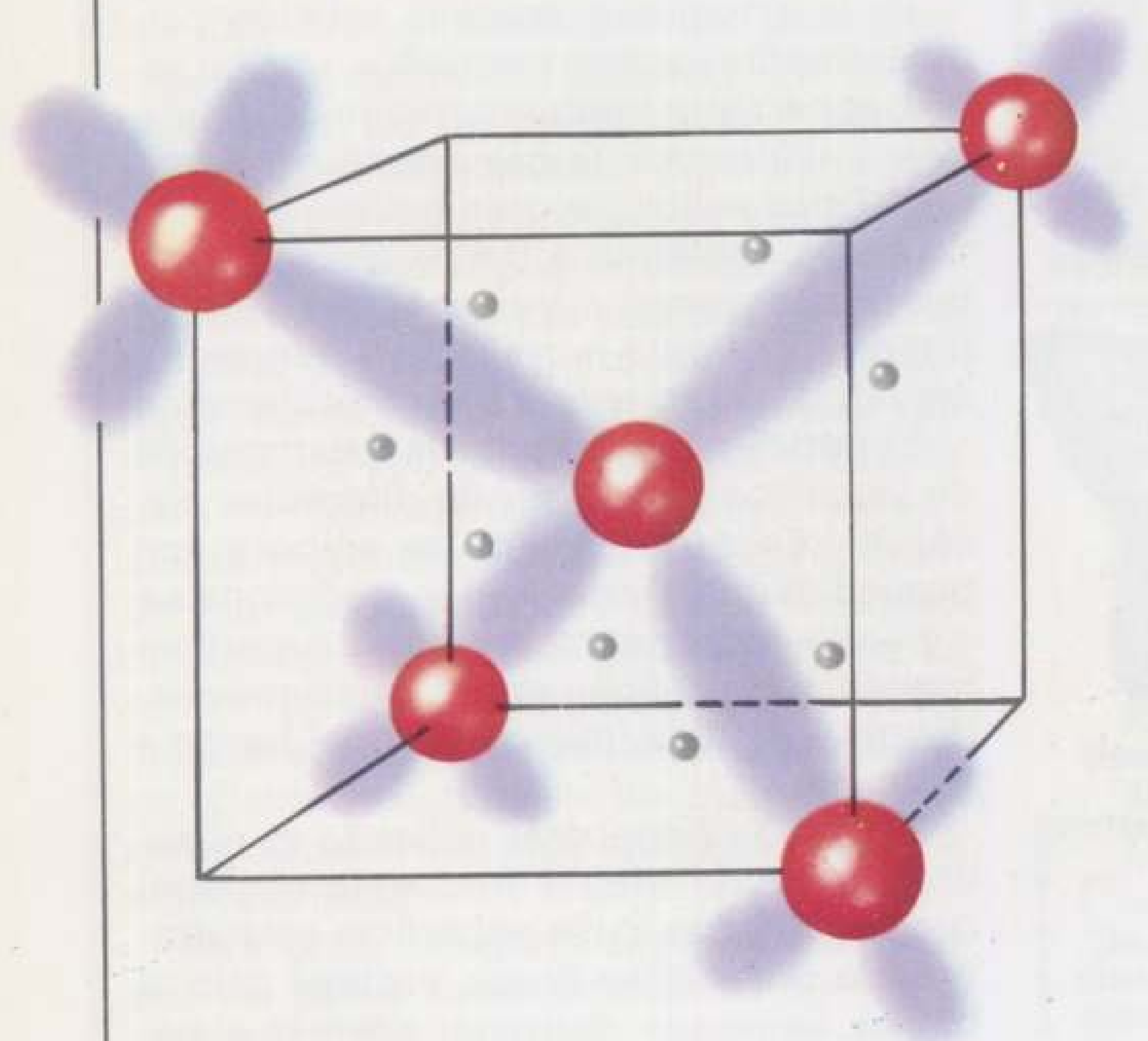
De la arena a los semiconductores El silicio, que es el semiconductor por excelencia, se obtiene mediante procedimientos químicos a partir del cuarzo existente en la arena. Este se funde en un crisol donde después se introduce una pequeña semilla cristalina, o núcleo, sobre la cual crece el nuevo cristal: al enfriarse, el silicio fundido se va uniendo al cristalino, que aumenta de dimensiones y se produce un posición y tamaño de las zonas que han sido dopadas.

En el proceso fotolitográfico se cubre la oblea con un material aislante, que normalmente es bióxido de silicio. Después se aplica una capa de material sensible a la luz ultravioleta, conocida con el nombre de *photoresist* y, en último lugar, la *máscara*, una película fina con el dibujo de la distribución de impurezas deseada.

La oblea se ilumina entonces con luz ultravioleta, que endurece las partes del *photoresist* a las que puede llegar a través de los agujeros de la máscara, mientras que las demás partes quedan sin endurecerse para poder eliminarlas después con disolventes. A continuación, se aplica un ácido que ataca el bióxido de silicio en las zonas descubiertas, de forma que en estas zonas queda al descubierto la capa de silicio. Al hacer circular por encima de la oblea un gas inerte con la concentración de impurezas deseada, éstas se difunden en el silicio. El siguiente paso es eliminar el aislamiento de bióxido de silicio y las demás capas. El proceso completo se repite con máscaras de dibujos distintos hasta que se obtienen las distribuciones de impurezas deseadas en todo el volumen de silicio. Finalmente, se corta la oblea en cuadraditos, dando lugar a las llamadas "pastillas" de semiconductor o *chips*. Los *chips* más potentes realizados hasta el momento mediante los procesos anteriormente descritos llegan a tener hasta medio millón de dispositivos sepa-



El histograma de resistividades de arriba muestra la situación de los materiales semiconductores. La escala de resistividades eléctricas indica que los aislantes tienen valores superiores al millón de ohmios por cm^2. Los conductores tienen valores por debajo de la cienmillonésima de ohmio por cm^2. En el centro se sitúa la gama de semiconductores cuya banda ocupa una zona mayor que la suma de las otras dos.



cristal mucho más grande. Este cristal de silicio es uno de los materiales con mayor grado de pureza que el hombre ha conseguido preparar. Posteriormente, el cristal se corta en obleas muy finas, que miden aproximadamente 10 cm de diámetro por 0,25 mm de espesor.

Una vez pulida, la oblea de silicio está preparada para ser tratada con productos químicos (*dopantes*), que contienen las impurezas necesarias para que el semiconductor funcione como transistor, diodo u otro dispositivo, dependiendo de la dis-

rados, en una superficie que no es mayor que la de una uña humana.

Conducción de la corriente La importancia del dopado en la utilidad del semiconductor se puede ver al observar cómo circula una corriente eléctrica en un material de este tipo con estructura cristalina.

En los átomos aislados, como en los gases, los electrones se encuentran en varios niveles de energía. Un electrón se puede desplazar de un nivel de energía a otro, absorbiendo o cediendo energía en

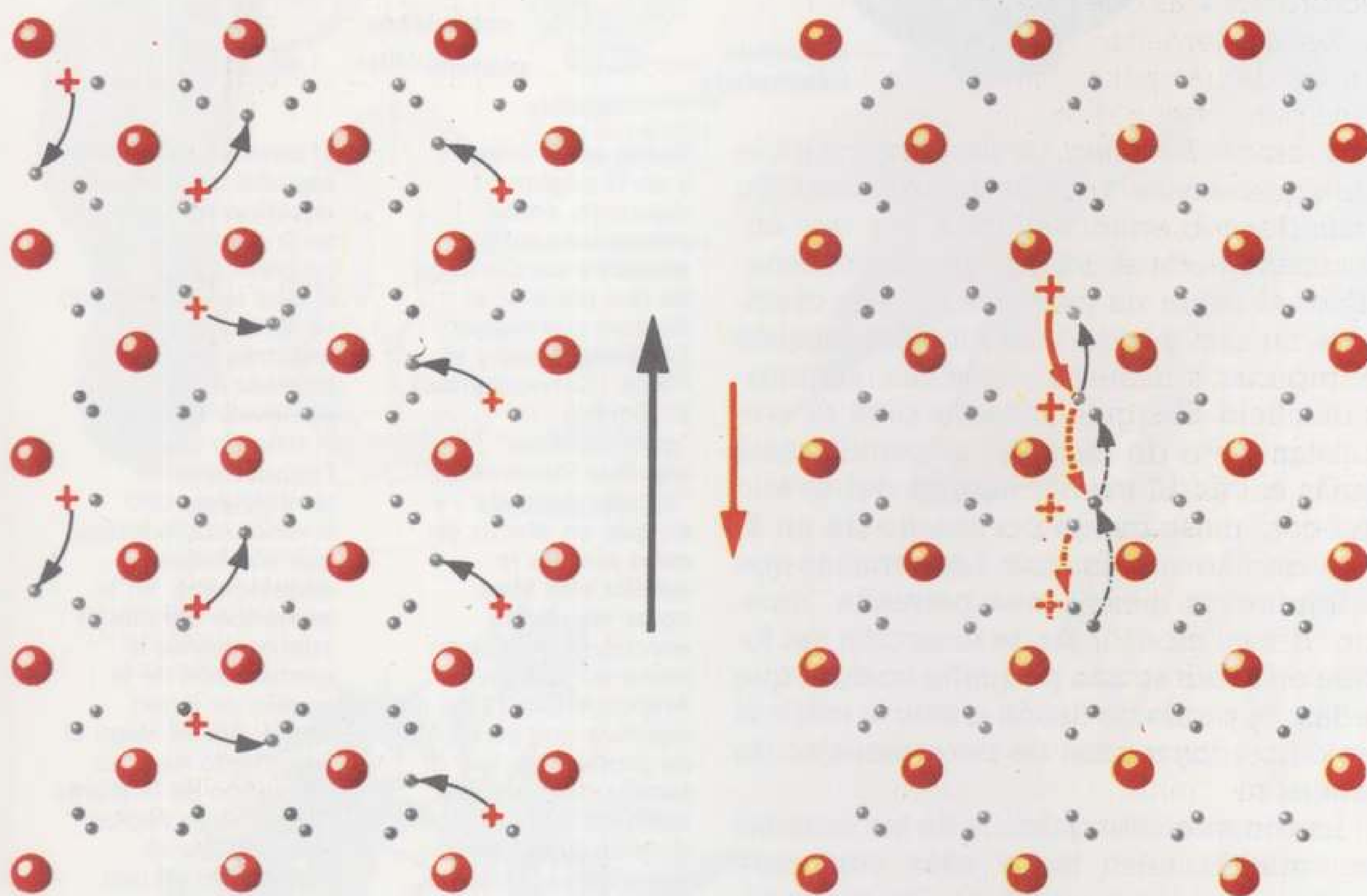
El germanio y el silicio son semiconductores formados por átomos que tienen en su nivel externo cuatro electrones. Estos átomos se unen entre sí mediante enlaces covalentes. Las cuatro direcciones que tienen los enlaces están situadas a lo largo de los radios de un tetraedro, como se puede ver en la celdilla cúbica de la izquierda. Los husos difuminados representan los enlaces entre átomos con su dirección correspondiente; las dos esferas pequeñas a los lados del enlace son los electrones, comunes a los dos átomos en este tipo de enlace. La estructura sólo se puede comprender observando este esquema en tres dimensiones y con la representación plana (a su derecha). →

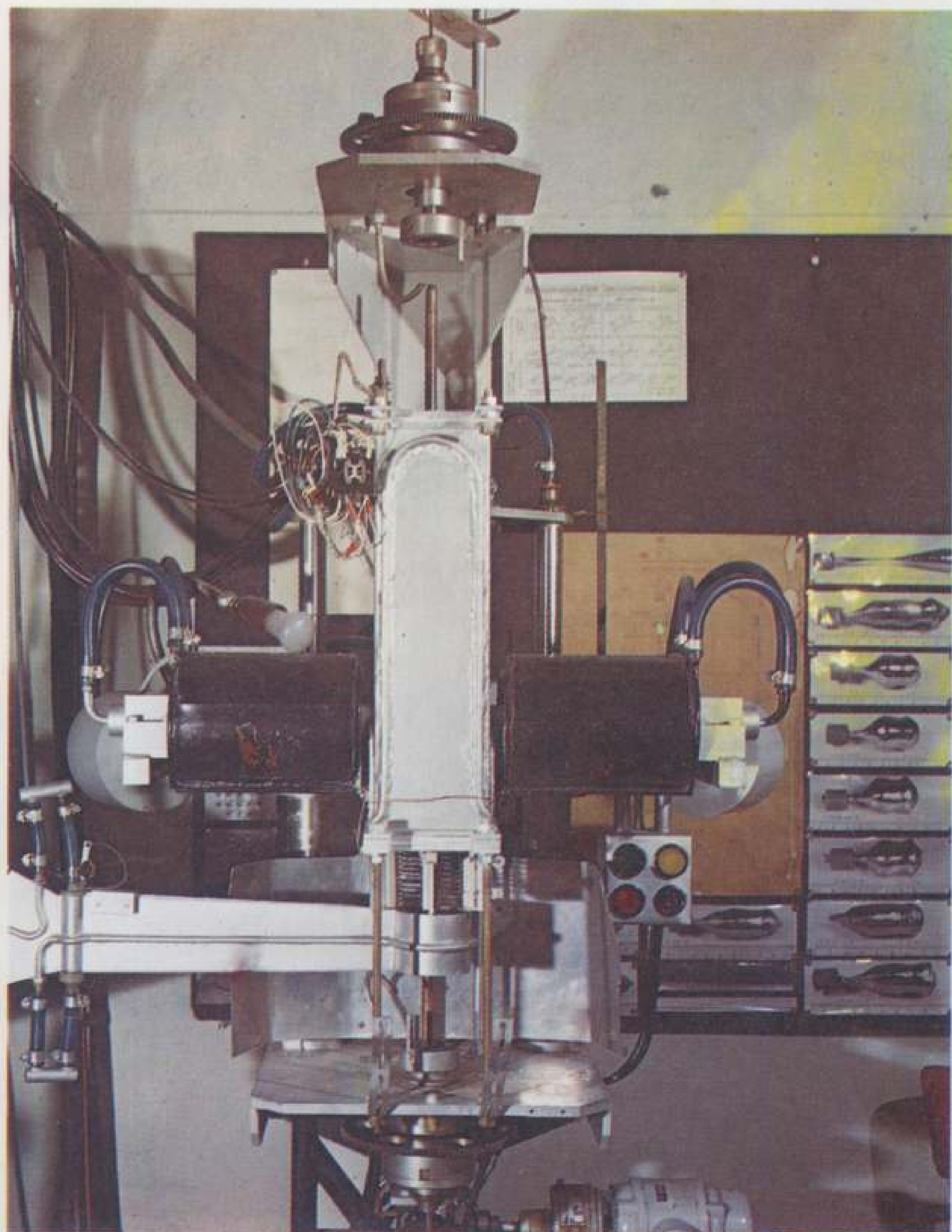
cantidades discretas, o fijas, conocidas con el nombre de *cuantos* de energía. Los electrones situados en los orbitales externos del átomo, conocidos como *electrones de valencia*, son normalmente los más fáciles de arrancar del átomo, lo que se produce con absorción de energía. En un material sólido, estos electrones forman una *banda de valencia* que, en el caso de tener un número de electrones que la completen, no conduce la electricidad. En cambio, cuando un electrón recibe una energía de excitación, pasa a otro nivel energético, conocido con el nombre de *banda de conducción*, y adquiere así libertad para moverse. Si se aplica después una tensión eléctrica, que produce una diferencia de potencial, el material en cuestión conduce la electricidad. Por otra parte, si el electrón ha pasado a la banda de conducción, falta en la banda de valencia, y queda un átomo con una carga positiva, debido a que falta la carga negativa del electrón: se dice que en el material hay un "hueco". En los semiconductores pueden conducir electricidad tanto los electrones como los huecos. El tipo de conducción depende del tipo de dopante introducido durante el proceso de fabricación del cristal de silicio. Una sustancia dopante que pueda dejar libre un electrón (de carga negativa), como el fósforo o el arsénico, se llama de tipo *n*, mientras que las sustancias dopantes que aceptan un electrón (produciendo un hueco), como el boro, se dice que son de tipo *p*. En un semiconductor como el silicio puro (de tipo *intrínseco*) existen muy pocos electrones libres o huecos, por lo que su conductividad es baja. Con el dopado se mejora la conductividad. Además, mediante la adición selectiva de sustancias dopantes se cambia el tipo del silicio, creando zonas *p*, zonas *n* y zonas intermedias llamadas *uniones p-n*, para obtener dispositivos como el transistor y el diodo.

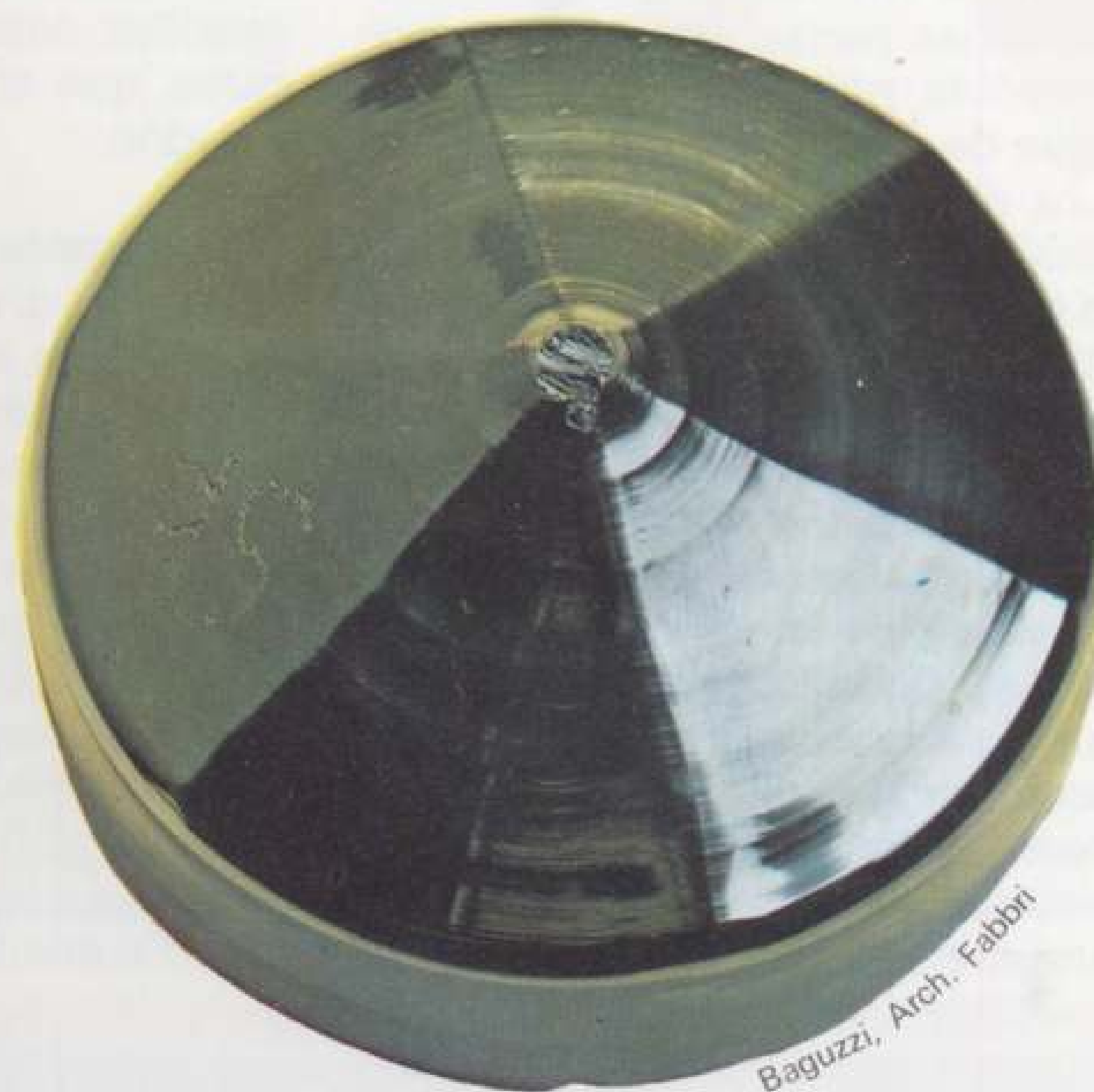
Los semiconductores deben su gran versatilidad a la facilidad con que pueden alterar sus propiedades conductoras.

El número de dispositivos fabricados a base de silicio es muy grande y variado. Entre ellos destaca el diodo emisor de luz o LED (utilizado en los relojes digitales), el tiristor y, sobre todo, el transistor, que es la base de los circuitos integrados (*chips*).

Véase **Diodo de emisión luminosa (LED); Mecánica cuántica; Transistor**







→ donde los átomos están colocados formando una cuadrícula, y los electrones de alrededor, emparejados entre los átomos, tienen una disposición regular. Arriba, a la izquierda, el mecanismo de conducción en un semiconductor. Puede suceder que, en algún punto de la red cristalina, un electrón abandone su posición para ocupar otra posición "excepcional" (flecha pequeña). Cuando un electrón abandona su posición, queda un hueco, es decir, una posición donde el balance de cargas es positivo. Otros electrones del sólido, negativos, tienden a ocupar el hueco, dejando a su vez otro hueco (a la derecha) en una sucesión en cadena, con lo que se obtiene la conducción por huecos.

Con los semiconductores se fabrican dispositivos, como diodos y transistores. Los cristales de silicio tienen que tener un alto grado de pureza o contener impurezas controladas que favorezcan la formación de huecos. Arriba, silicio dopado con antimonio. A la izquierda, horno para fabricar monocristales de silicio semiconductor.

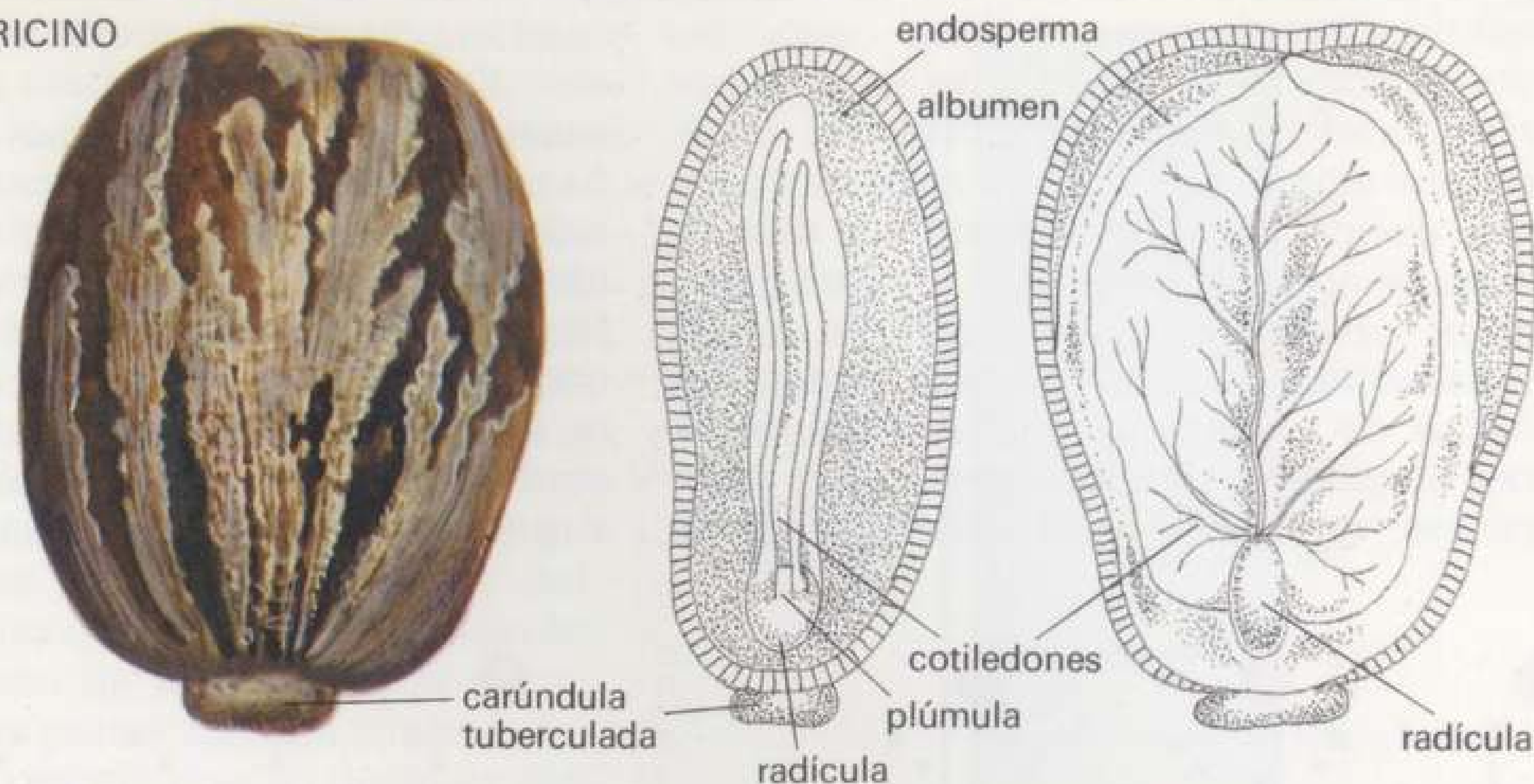
Semilla

Existen semillas de muy variadas dimensiones, que van desde las minúsculas semillas de algunas orquídeas tropicales, similares a partículas de polvo, hasta los enormes cocos; todas ellas, sin embargo, tienen un punto en común: son el germen de una nueva planta. Las semillas son *óvulos maduros* capaces de dar origen a una planta entera, y constituyen, además, una de las principales fuentes de la alimentación humana. La importancia de las semillas de cereales, como el trigo y el arroz, es extraordinaria, así como la de las legumbres. Numerosas semillas, como las de soja, lino, girasol, algodón, cártamo, etc., constituyen la materia prima para la extracción de aceites y margarinas; por otro lado, numerosas especies aromáticas se obtienen también a partir de semillas (por ejemplo, la nuez moscada, el comino, el anís, el eneldo o la mostaza). La producción de semillas ha dado lugar a una importante industria, con redes de distribución repartidas por todo el mundo. Además, su control y selección han contribuido notablemente a una mejora de la agricultura, garantizando el empleo de semillas de mayor calidad, pureza, falta de contaminación y elevada tasa de germinación.

Estructura de la semilla Cada semilla contiene el embrión de una nueva planta y, a veces, también, el endosperma, reserva alimenticia fundamental para el desarrollo del embrión. Generalmente, la semilla está protegida por una cubierta dura llamada *testa*. El embrión vegetal está formado por varias partes: *cotiledones*, *epicótilo*, *hipocótilo*, *plúmula* y *radícula*, que se presentan de distintas formas, según las plantas. Los cotiledones son las hojas rudimentarias del embrión; el epicótilo es la parte que sostiene a los cotiledones y forma el primer entrenudo de la plúmula, mientras que el hipocótilo une los cotiledones a la radícula. En las Gimnospermas (plantas con semilla desnuda, como las coníferas), el endosperma encierra dos o más cotiledones con el resto del embrión. En cambio, en las Angiospermas (cuyas flores tienen ovario), los cotiledones pueden ser, como máximo, dos. El cacahuete es un buen ejemplo de Angiosperma; cuando se abre la semilla se puede observar claramente las dos mitades que forman los cotiledones. La parte comestible de los guisantes y los garbanzos también está formada, esencialmente, por dos cotiledones. Los cotiledones se suelen desarrollar durante los primeros días de crecimiento de la planta y su función consiste en realizar la síntesis clorofílica, suministrándole la energía necesaria para su crecimiento. Por lo general, la semilla está unida al revestimiento interno del ovario (o fruto) de la planta por medio de un filamento llamado *funículo*. Las semillas que están sueltas tienen una pequeña "cicatriz", el *hilo*, en el lugar de inserción del funículo. El *rafe* es una pequeña costura que señala el punto de fusión o sutura entre el funículo y los tejidos de revestimiento de la semilla.

La composición química de las semillas es variable, pero todas ellas contienen aceites, almidón y proteínas. Ciertas semillas, como las del maíz, los guisantes o las cebollas, contienen gran cantidad de azúcares, que al germinar se convertirán en almidón.

Dispersión de las semillas Las plantas presentan diversas adaptaciones con el fin de que sus semillas alcancen los lugares más adecuados para su germinación. La mayoría presenta un revestimiento muy resistente, por lo que el recorrido que realizan no les suele afectar demasiado, tanto si son transportadas por el aire como por el agua, los pájaros u otros animales. Algunas semillas pueden permanecer en estado de *quiescencia* durante cientos de años, al cabo de los cuales germinan, si se dan unas condiciones ambientales favorables. En muchas semillas existen artilugios

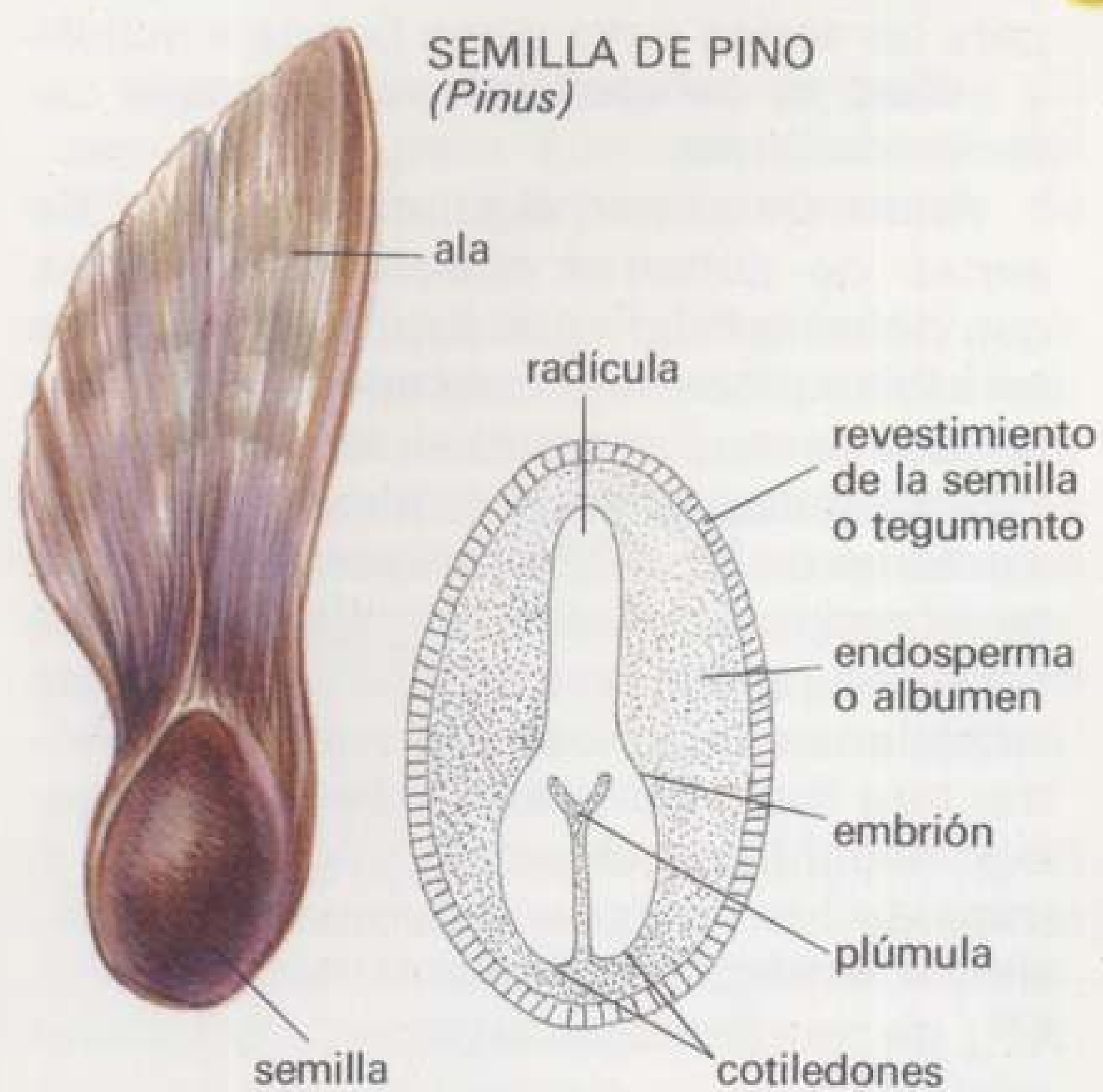


Sobre estas líneas y en la página siguiente, arriba, vemos las semillas enteras y seccionadas de dos plantas: el *Ricinus communis* (Angiosperma) y el *Pinus* (Gimnosperma). El término "gimnosperma" significa literalmente "semilla desnuda", y es que, en efecto, en estas plantas la semilla está libre, no se encuentra encerrada en el fruto como sucede en las Angiospermas. Esto no significa que carezca de protección: la semilla del pino, por ejemplo, está protegida durante su formación por escamas ovulares, y cuando madura está cubierta por un tegumento externo muy duro. Las semillas de ciertas coníferas tienen una típica expansión en forma de ala (página de al lado) de manera que la semilla, una vez madura, puede ser arrastrada por el viento a largas distancias.

El embrión es la parte esencial de la semilla; constituye el germen de la nueva planta. La parte a partir de la cual se forma la raíz se llama radícula, mientras que la plúmula es la parte destinada a formar el tallo de la planta. Frecuentemente también hay uno o varios cotiledones, que son hojas embrionarias. En la secuencia del dibujo inferior vemos la germinación de la semilla de ricino, desde que se rasga el tegumento hasta la formación de la planta propiamente dicha, pasando por el nacimiento de una primera raíz a partir de la radícula. En la página de al lado, arriba, vemos el gran disco aterciopelado →









→ del girasol, que puede alcanzar 30 cm de diámetro, con sus numerosos aquenios alargados, que contienen las semillas, muy ricas en aceite (25-30%).

que facilitan su dispersión; la de diente de león, por ejemplo, posee un vilano, a modo de minúsculo paracaídas, con el que puede desplazarse por el aire varios kilómetros; otros árboles, como el fresno o el arce, forman semillas aladas, de forma que al caer tienen un movimiento helicoidal gracias al cual se pueden alejar bastante. El *tumbleweed* (un árbol de los desiertos norteamericanos) utiliza un sistema realmente original: toda la planta se separa del frágil tronco y es empujada por el viento, diseminando las semillas que se desprenden con las sacudidas. Algunas semillas tienen la superficie pegajosa o provista de ganchos y rizos lo que les permite adherirse a las plumas o al pelo de los animales, que sirven como transporte. Otras, en cambio, son ingeridas por algunos animales y sobreviven al proceso digestivo, siendo expulsadas con las heces, tras lo cual se encuentran en condiciones de germinar. Las semillas de muchas plantas tropicales (como los cocos) atraviesan largas distancias a través de los mares, y sólo germinan cuando llegan a una playa.

Véase **Botánica; Cereales; Espora y esporogénesis; Plantas; Reproducción**

Series

Cualquier persona, sin eso que, pedantemente, suele llamarse "formación matemática superior" pero con sentido común, a la que se le preguntase por el valor de la suma de *infinitos* (o, en términos más correctos: de un *número creciendo sin límite*) sumandos no nulos contestaría que tal valor debiera ser *infinito* (o, en términos más correctos: *superior a cualquier cota que se le fijase*). Esa ha sido, durante mucho tiempo, una respuesta *lógica* (ingenuamente lógica, se entiende) con numerosos partidarios. El propio Zenón de Elea se basaba en la misma, bajo una u otra forma (las *aporías* de la flecha que no llega al blanco o de Aquiles que no alcanza a la tortuga), para negar la posibilidad de conceptos tan centrales de la ciencia y el pensamiento como los de cambio o movimiento y, si se permite el anacronismo, los de continuo e infinito matemáticos, en defensa de las concepciones de Parménides frente a las de Heráclito.

Sin embargo, siguiendo en el terreno de lo intuitivo o *naturalmente lógico*, y dejando de lado la cuestión básica relativa al hecho de que el Algebra y la Aritmética, en principio, definen la suma sólo para *dos* y, por extensión, para un *número finito* de sumandos, conviene examinar un caso elemental.

Supóngase que un objeto susceptible de división —por ejemplo una varilla de un metro o una manzana— se parte en dos mitades iguales, una de las cuales se aparta mientras la otra se divide en dos cuartos iguales, uno de los cuales, a su vez, se aparta, etc; cuando se han hecho *n* divisiones las cantidades apartadas, que forman una progresión geométrica, suman.

$$\frac{1}{2}+\frac{1}{4}+\cdots+\frac{1}{2^n}=\frac{1/2-1/2^{n+1}}{1-1/2}=1-\frac{1}{2^n}$$

y la que va a continuar cortándose es, naturalmente, el $1/2^n$ que falta. Pues bien, por mucho que se continúe el proceso la suma nunca superará la unidad y, por otra parte, la diferencia respecto a ella tenderá a ser insignificante, ya que $1/2^n$ puede hacerse tan pequeño como se quiera sin más que elegir *n* suficientemente grande (véase ilustración en la página 2853).

La anterior consideración resulta obvia para quien esté familiarizado con las progresiones geométricas y el concepto de límite. En efecto: si se llama:

$$S_n=\frac{1}{2}+\cdots+\frac{1}{2^n}=1-\frac{1}{2^n}$$

y se entiende que la fórmula, sin sentido en Algebra o Aritmética,

$$S=\frac{1}{2}+\cdots+\frac{1}{2^n}+\cdots=\sum_{n=1}^{\infty}\frac{1}{2^n}$$

tiene el significado de $S=\lim_{n\to\infty} S_n$

resulta que $S=\lim_{n\to\infty}\left(1-\frac{1}{2^n}\right)=1$

Definición formal de serie Las anteriores ideas pueden formalizarse como sigue.

Sea $u_1, u_2, ..., u_n, ...$ una sucesión de números de $\mathbb{R}$; a partir de la misma se define, mediante la operación suma, la sucesión de *sumas parciales:*

$$S_1=u_1$$
$$S_2=u_1+u_2$$
$$\cdots\cdots$$
$$S_n=S_{n-1}+u_n=u_1+u_2+\cdots+u_n$$

A la nueva sucesión, $S_1, S_2, ..., S_n, ...$ se la denomina *serie* de los $u_1, u_2, ... u_n, ...$ o serie cuyo término general (o *n*-ésimo) es u_n. La serie se llama *convergente* si lo es como sucesión; en caso contrario se llama *divergente*.

Es frecuente también, y resulta cómodo, reservar el calificativo de *divergente* para las series cuya suma tiende a infinito y utilizar el de *oscilante* para las que carecen de límite.

Antes de poner algunos ejemplos de series de números racionales o reales, conviene señalar que, históricamente, se ha ido ampliando el concepto y en la matemática actual se estudian también series cuyos elementos son números complejos, vectores de $\mathbb{R}^n$ o $\mathbb{C}^n$, funciones, etc. Como se comprende fácilmente ello se podrá hacer en cualquier conjunto siempre que exista una operación suma y tenga una estructura topológica en la que pueda hablarse del límite de una sucesión; tal es el caso de los cuerpos numéricos $\mathbb{Q}$, $\mathbb{R}$ y $\mathbb{C}$, de los espacios vectoriales del tipo $\mathbb{R}^n$ o $\mathbb{C}^n$, de numerosos espacios vectoriales normados cuyos elementos son funciones, etc. En el caso más general, basta que el conjunto sea un grupo aditivo abeliano topológico separado (es decir un grupo con una operación conmutativa denotada aditivamente que sea, a la vez, un espacio topológico separado y tal que ambas estructuras estén ligadas por el hecho de que la suma y el opuesto sean funciones continuas).

Volviendo a las series numéricas conviene examinar algunos casos de los distintos tipos; por ejemplo son convergentes

$$1+\frac{1}{2}+\cdots+\frac{1}{2^n}+\cdots=2$$

$$1+\frac{1}{1!}+\frac{1}{2!}+\cdots+\frac{1}{n!}+\cdots=e$$

$$1-\frac{1}{2}+\frac{1}{3}-\cdots+\frac{(-1)^{n+1}}{n}+\cdots=\log 2$$

$$1-\frac{1}{3}+\frac{1}{5}-\cdots+\frac{(-1)^n}{2n+1}+\cdots=\frac{\pi}{4}$$

por el contrario, divergen:

$$1+2+3+\cdots+n+\cdots \text{ y } 1+\frac{1}{2}+\frac{1}{3}+\cdots+\frac{1}{n}+\cdots$$

y oscila:

$$1-1+1-1+\cdots$$

Las series mostradas en primer lugar son ejemplos interesantes en Análisis que, si se exceptúa la primera que es geométrica, exigen recursos matemáticos de cierto nivel para probar su convergencia y, sobre todo, encontrar su suma. Las dos presentadas como divergentes tienen aspectos muy distintos; vista la definición es obvio que la serie de los números naturales diverge ya que la suma parcial *n*-ésima vale $n(n+1)/2$. Sin embargo, no parece tan claro, sobre todo tras haber visto los ejemplos anteriores, que la serie de término general $1/n$, llamada *armónica*,



El matemático inglés Brook Taylor (1685-1731) se ocupó de numerosas cuestiones; en sus últimos años, incluso, de temas filosóficos y religiosos. Sin embargo, hoy es conocido casi exclusivamente por su teorema, o fórmula, que da el desarrollo en serie de potencias de una función. El mismo, descubierto hacia 1712, apareció publicado en la principal obra de Taylor, *Methodus incrementorum directa et inversa* (1715-1717), que, si se descartan unos pocos precedentes, puede considerarse como la fundacional sobre *diferencias finitas*. La importancia del teorema fue ignorada durante medio siglo, hasta que Lagrange (1736-1813) la puso de relieve. Por otra parte, conviene señalar que la primera demostración rigurosa del teorema es la de Cauchy (1789-1857).



Una de las famosas *aporías* que Zenón utilizó para probar la "imposibilidad" del movimiento es la llamada "del arquero": la flecha que se *mueve* del arco al blanco *debe* estar en *reposo* en cada instante, considerado como el elemento de tiempo mínimo e indivisible. Las *aporías de Zenón* han sido durante siglos un reto para filósofos y científicos que, sólo *en cierto modo,* las han resuelto. Así, por ejemplo, la suma de series geométricas da cuenta de la de "Aquiles y la tortuga", y las ideas de velocidad media y velocidad instantánea (derivada del espacio respecto al tiempo) de la "del arquero". Sin embargo, es necesario reconocer que los problemas que planteó Zenón son profundos y sus *soluciones* matemáticas lo son saliéndose del terreno de su autor, en el que las *aporías* no tienen salida (como su nombre indica).

sea divergente. Pero es fácil probarlo. En efecto, denotando por H_n a la suma parcial *n*-ésima, se tiene:

$$H_1 = 1$$

$$H_2 = 1 + \frac{1}{2} = 3/2$$

$$H_4 \geqslant 1 + \frac{1}{2} + \left(\frac{1}{4} + \frac{1}{4}\right) = 2$$

....

$$H_{2^m} \geqslant 1 + \frac{1}{2} + \left(\frac{1}{4} + \frac{1}{4}\right) + \cdots + \left(\frac{1}{2^m} + \cdots + \frac{1}{2^m}\right) = 1 + \frac{m}{2}$$

lo que significa que H_n puede hacerse tan grande como se quiera.

Por otra parte, como se probará más adelante, se cumple que:

$$H_n = \log n + \gamma + \varepsilon_n$$

donde log *n* es el logaritmo neperiano de *n*, γ la constante de Euler (o de Euler-Mascheroni), cuyo desarrollo decimal es γ = 0,57721566..., y ε_n tiende a cero cuando *n* tiende a infinito. Esta expresión resulta muy útil para la suma de numerosas series; por ejemplo, la ya citada:

$$1 - \frac{1}{2} + \frac{1}{3} - \frac{1}{4} + \cdots$$

En efecto; se tiene que:

$$H_{2n} = 1 + \frac{1}{2} + \frac{1}{3} + \cdots + \frac{1}{2n} = \log(2n) + \gamma + \varepsilon_{2n}$$

$$H_n = 1 + \frac{1}{2} + \frac{1}{3} + \cdots + \frac{1}{n} = \log n + \gamma + \varepsilon_n$$

$$A_n = 1 + \frac{1}{3} + \cdots + \frac{1}{2n-1} = H_{2n} - B_n$$

$$B_n = \frac{1}{2} + \frac{1}{4} + \cdots + \frac{1}{2n} = \frac{1}{2} H_n$$

Por tanto:

$$1 - \frac{1}{2} + \frac{1}{3} - \frac{1}{4} + \cdots - \frac{1}{2n} = A_n - B_n$$

$$= H_{2n} - H_n = \log(2n) - \log n + \varepsilon_{2n} - \varepsilon_n$$

Pero evidentemente, $\varepsilon_{2n} - \varepsilon_n$ es una cantidad que tiende a cero, cuando *n* tiende a infinito; en consecuencia:

$$1 - \frac{1}{2} + \frac{1}{3} - \frac{1}{4} + \cdots = \log 2$$

Resultado de interés (que puede obtenerse por otros procedimientos más directos, como se verá más adelante).

Después de lo que se ha visto cabe preguntarse: ¿existen reglas o criterios que permitan asegurar cuándo una serie converge? La respuesta es afirmativa. En primer lugar, hay un teorema que fija una condición necesaria: "para que S_n converja su término general debe tender a cero". La prueba es inmediata; si existe el límite S, de S_n, se tiene que

$$\lim_{n\to\infty} S_n = \lim_{n\to\infty} (S_{n-1} + u_n)$$

es decir: $S = S + \lim u_n$; lo que obliga a que $\lim u_u = 0$.

Resulta evidente que la anterior condición no es suficiente, como lo prueba la divergencia de la serie armónica a pesar de que $1/n$ tienda a cero. Sin embargo, existe una clase particular de series para las que basta la citada condición: son las alternadas, con términos constantemente decrecientes (una serie es *alternada* si sus términos son *alternativamente* positivos y negativos) y ello porque las sumas parciales de órdenes impares $S_1, S_3, ..., S_{2n-1}, ...$ y las de órdenes pares, $S_2, S_4, ..., S_{2n}, ...$ constituyen dos sucesiones monótonas, creciente una y decreciente la otra, y tales que la diferencia entre los términos correspondientes $S_{2n} - S_{2n-1}$ es precisamente u_{2n}; si éste tiende a cero, resulta que ambas sucesiones convergen a un valor común S. Es más: el error que se comete al tomar como valor aproximado de S el de

S_n es menor, en valor absoluto, que el primer término "despreciado" u_{n+1}, y lo es por defecto o exceso según sea positivo o negativo dicho término. (Este resultado es válido en $\mathbb{R}$; puede no serlo en $\mathbb{Q}$ por no ser un espacio completo; en tal caso el que u_n tienda a cero garantiza que la sucesión de las S_n es de Cauchy).

El anterior criterio permite probar, sin necesidad de calcular la suma, que la serie antes citada

$$1-\frac{1}{2}+\frac{1}{3}-\frac{1}{4}+\cdots$$

es convergente. Otro caso curioso es el de la serie

$$1-\log\frac{2}{1}+\frac{1}{2}-\log\frac{3}{2}+\cdots+\frac{1}{n}-\log\frac{n+1}{n}+\cdots$$

Resulta inmediato que es alternada. Los términos son constantemente decrecientes, ya que (por definición del número e)

$$\left(1+\frac{1}{n}\right)^n < e < \left(1+\frac{1}{n}\right)^{n+1}$$

lo que implica (tomando logaritmos neperianos)

$$n\log\left(1+\frac{1}{n}\right) < 1 < (n+1)\log\left(1+\frac{1}{n}\right)$$

y, por tanto

$$\log\left(\frac{n+1}{n}\right) < \frac{1}{n} \qquad \frac{1}{n+1} < \log\left(\frac{n+1}{n}\right)$$

Por último

$$\lim_{n\to\infty}\frac{1}{n} = \lim_{n\to\infty}\log\left(\frac{n+1}{n}\right) = 0$$

En consecuencia la serie converge y cualquier suma parcial es un valor aproximado de la misma con error menor que el primer término despreciado. Dicho valor se suele llamar constante de Euler, o de Euler-Mascheroni, y denotar por la letra γ (o la *C*); las primeras cifras de su desarrollo decimal ya se han indicado anteriormente. Resulta curioso que este número, conocido hace tiempo, no se ha sabido aún determinar si es transcendente (como π o e); en realidad no se sabe siquiera si es racional o irracional.

Puede probarse ahora la relación existente entre H_n y log n. En efecto, se tiene:

$$1-\log\frac{2}{1}+\cdots+\frac{1}{n} = 1+\frac{1}{2}+\cdots+\frac{1}{n} -$$

$$-\log\left(\frac{2}{1}\cdot\frac{3}{2}\cdots\frac{n}{n-1}\right) = H_n - \log n$$

y, por tanto: $\gamma = \lim\limits_{n\to\infty}(H_n - \log n)$

o, lo que es lo mismo: $H_n = \log n + \gamma + \varepsilon_n$

siendo $\lim\limits_{n\to\infty} \varepsilon_n = 0$

Criterios de convergencia Como se ha visto, la condición de que el término general tienda a cero es necesaria pero no suficiente para la convergencia de una serie. ¿Existirá, entonces, un criterio general de convergencia sean como fueren los términos de la serie? Sí, para el caso de que se trate de series de números reales o de elementos de un espacio completo. Se recuerda que son espacios completos $\mathbb{R}$, $\mathbb{C}$, $\mathbb{R}^n$, etc. y, en general, aquellos espacios métricos (es decir, dotados de una distancia) para los que toda sucesión de Cauchy es convergente; y que es de Cauchy aquella sucesión $\{x_n\}$ tal que dado el real $\varepsilon > 0$ es posible encontrar un *n* tal que para p, q $\geqslant$ n se cumple que $d(x_p, x_q) \leqslant \varepsilon$ (en el caso real $d(x_p, x_q) = |x_p - x_q|$).

Pues bien, una serie en $\mathbb{R}$ (o en un espacio completo) será convergente si es de Cauchy; entonces, será convergente si dado $\varepsilon > 0$, existe *n* tal que, para p, q $\geqslant$ n, $|S_p - S_q| = |u_{p+1} + \cdots + u_q| \leqslant \varepsilon$. En otros términos: la serie de término general u_n es convergente si y sólo si la expresión $|u_{p+1} + \cdots + u_q|$ puede hacerse tan pequeña como se quiera, sin más que elegir *p* y *q* mayores que un número suficientemente grande. Este criterio general es, sin embargo, poco práctico y, en muchas ocasiones, hay que recurrir a otros más sencillos. A veces se utiliza el concepto de resto de orden n, $R_n = \sum\limits_{k>n} u_k$. Naturalmente el que la serie sea convergente equivale a que lo sea la sucesión de sumas parciales S_n o, lo que es lo mismo, a que R_n tienda a cero. Por ello se dice a veces que la condición necesaria y suficiente de convergencia de una serie en que el resto R_n tienda a cero.

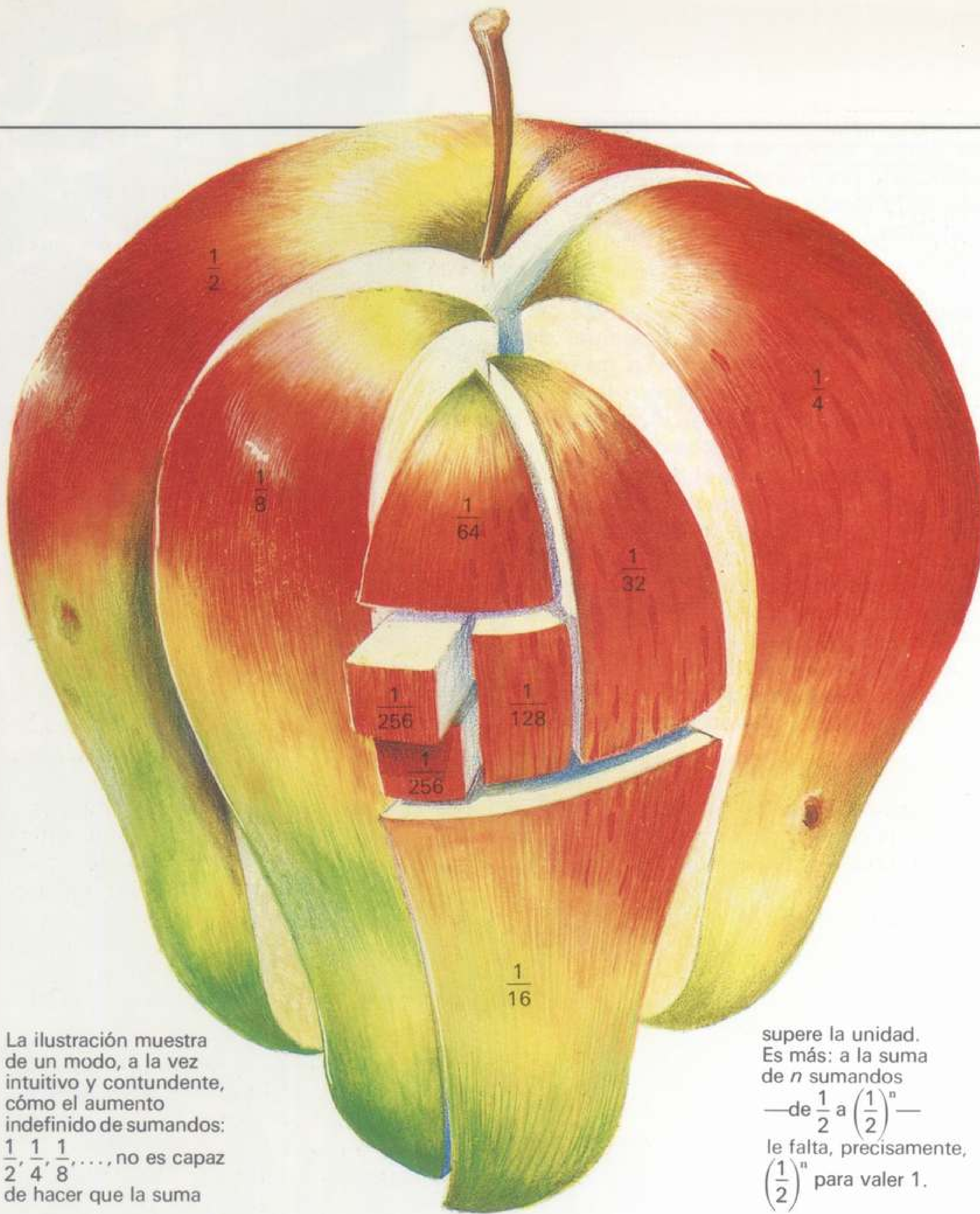
Existen numerosas reglas prácticas —los llamados criterios de convergencia— que dan condiciones suficientes para que distintos tipos de series sean convergentes. Los más interesantes suelen referirse a series de términos reales positivos. Se trata, claro está, de reglas cuya aplicación es más simple que el criterio general anterior.

Propiedades y operaciones con series Cabe preguntarse si las series gozan de las mismas propiedades que las sumas, por ejemplo: ¿son conmutativas o asociativas? ¿se distribuye el producto de un número por una serie? En principio podría pensarse que una serie divergente lo sigue siendo en cualquier caso y que las que convergen se comportan como si fueran sumas. La cosa no está tan clara. Así la serie: $1 - 1 + 1 - 1 + \cdots$, que oscila entre los valores 1 y 0, si se asocian términos de dos en dos se "convierte" en la serie trivialmente convergente $0 + 0 + 0 + \cdots = 0$.

Si la serie es de números reales positivos el carácter de divergente o convergente (y, en este caso, su suma) se conserva cuando se asocian o disocian términos o cuando se altera el orden. Cuando existen infinitos términos de uno y otro signo la situación se complica. Para ellos se define el concepto de serie *absolutamente convergente*, que es aquella para la que resulta convergente la formada por los valores absolutos (o por las normas si se trata de elementos de un espacio vectorial, en vez de números). Conceptos estrechamente unidos al anterior son los de series *condicional* e *incondicionalmente convergentes* que son, respectivamente, las que conservan o no la propiedad de convergencia cuando se altera el orden de los términos. Puede probarse que una serie si es absolutamente convergente es incondicionalmente convergente. En tal caso la posibilidad de asociar o disociar términos, alterar el orden, etc. se conserva de modo análogo a lo que sucede con las sumas ordinarias.



A Joseph Fourier (1768-1830), militar, político (contribuyó a la Revolución francesa, fue secretario del Instituto de Egipto y prefecto de Grenoble con Napoleón, entre otras cosas), notable matemático, académico y profesor de la Normal y de la Politécnica, se le deben importantes contribuciones científicas. La más importante es, sin duda, la de las series trigonométricas. Hacia 1807, ante la Academia, Fourier aportó sus primeras ideas sobre la materia. En 1822 publicó *La Théorie Analytique de la Chaleur*, obra que revolucionó los métodos de la física matemática y es fundamental en la historia, tanto de la matemática aplicada como de la física, en la que se usan dichas series para resolver los problemas de contorno en ecuaciones diferenciales en derivadas parciales que se presentan en la misma.



La ilustración muestra de un modo, a la vez intuitivo y contundente, cómo el aumento indefinido de sumandos: $\frac{1}{2}, \frac{1}{4}, \frac{1}{8}, \ldots$, no es capaz de hacer que la suma supere la unidad. Es más: a la suma de *n* sumandos —de $\frac{1}{2}$ a $\left(\frac{1}{2}\right)^n$— le falta, precisamente, $\left(\frac{1}{2}\right)^n$ para valer 1.

En cuanto a la propiedad distributiva del producto respecto a la suma ésta es generalizable a las series.

Por otra parte puede definirse para las series operaciones análogas —suma, producto, etc.— que para los propios elementos, del conjunto en que están definidas.

Series de funciones Si se consideran en vez de sucesiones de números sucesiones de funciones definidas sobre un mismo intervalo de la recta real (o en un dominio complejo) $f_1(x), f_2(x), \ldots, f_n(x), \ldots$, pueden definirse series funcionales del siguiente modo:

$$S_n(x)=\sum_{i=1}^{n} f_i(x) \qquad S(x)=\lim_{n\to\infty} S_n(x)$$

La situación ahora se complica porque puede enfocarse la cuestión de diferentes modos; por ejemplo, para cada valor numérico de x se tienen valores numéricos de las $f_i(x)$ y de las $S_n(x)$ y, si la serie es convergente, de S(x); se habla entonces de *convergencia puntual*. Cuando la misma se da para todos los valores del campo de variación de la variable se habla de la convergencia en el mismo. A su vez ésta puede serlo según diferentes conceptos de convergencia. Por ejemplo, *uniforme;* es decir, cuando dado un $\varepsilon > 0$ existe un n_0 (dependiente de ε pero independiente de x) tal que para $n \geqslant n_0$ se tiene $|S(x)-S_n(x)| \leqslant \varepsilon$ para todo x del campo de variación. O, en otro sentido, la *cuadrática,* es decir cuando (en análogos términos al caso anterior)

$$\int_D |S(x)-S_n(x)|^2\,dx \leqslant \varepsilon$$

(siendo D el dominio de la variable x).

Estos conceptos clásicos pueden *leerse* de un modo moderno, considerando el espacio de las funciones como un espacio vectorial normado en el que se definen directamente las series entre elementos del espacio.

Los casos más interesantes, entre los más elementales, son los de las series de funciones continuas reales o complejas y, entre éstas, las de las llamadas series de potencias (o enteras) y de las trigonométricas (o de Fourier), que son muy útiles en numerosas cuestiones teóricas y aplicadas.

Se tiene al respecto que una función *analítica* (real o compleja) es tal que

$$f(x)=\sum_{0}^{\infty} f^{(n}(a)\,\frac{(x-a)^n}{n!}$$

siendo $f^{(n}(a)$ la derivada *n*-ésima de *f* en el punto *a* y siendo aplicable la anterior fórmula —llamada de Taylor— en un entorno de *a* de radio *r* (en la recta real o en el plano complejo). Para que la fórmula sea válida *f* debe ser indefinidamente derivable, con derivadas continuas, en el abierto de centro *a* y radio *r*, y además debe tender a cero el resto de la serie. Esa propiedad es la que se resume precisamente diciendo que *f* es *analítica* en el entorno de *a*.

Cuando *a* = 0 la serie se escribe

$$f(x)=\sum_{0}^{\infty} f^{(n}(0)\,\frac{x^n}{n!}$$

y se llama de MacLaurin.

Ejemplos de las anteriores fórmulas son los siguientes:

$$e^x=\sum_{0}^{\infty}\frac{x^n}{n!}=1+x+\frac{x^2}{2!}+\cdots+\frac{x^n}{n!}+\cdots$$

$$\cos x=\sum_{0}^{\infty}(-1)^n\frac{x^{2n}}{(2n)!}=1-\frac{x^2}{2!}+\cdots+(-1)^n\frac{x^{2n}}{(2n)!}+\cdots$$

$$\operatorname{sen} x=\sum_{0}^{\infty}(-1)^n\frac{x^{2n+1}}{(2n+1)!}=x-\frac{x^3}{3!}+\cdots+(-1)^n\frac{x^{2n+1}}{(2n+1)!}+\cdots$$

válidas para $-\infty < x < \infty$ si *x* es real y para $|x| < \infty$ si *x* es complejo.

Otras, también interesantes, son

$$\operatorname{arc\,tg} x=\sum_{0}^{\infty}(-1)^n\frac{x^{2n+1}}{2n+1}=x-\frac{x^3}{3}+\cdots$$

$$\log(1+x)=\sum_{0}^{\infty}(-1)^{n+1}\frac{x}{n}=x-\frac{x^2}{2}+\cdots$$

válidas para $|x| < 1$, y también para el valor $x=1$ (aunque no para $x=-1$), en el que permiten obtener los resultados ya anunciados.

$$\frac{\pi}{4}=1-\frac{1}{3}+\frac{1}{5}-\cdots+\frac{(-1)^n}{2n+1}+\cdots$$

$$\log 2=1-\frac{1}{2}+\frac{1}{3}+\cdots+\frac{(-1)^{n+1}}{n}+\cdots$$

Otro tipo de series funcionales interesantes son las trignométricas o de Fourier (que, a su vez, cabe generalizar a las series de funciones ortogonales). Se trata de series del tipo

$$\sum_{0}^{\infty} a_n \cos n\frac{2\pi}{T}x + b_n \operatorname{sen} n\frac{2\pi}{T}x$$

que representan funciones en [0, T] que se repiten periódicamente con período T fuera de dicho intervalo.

A efectos de cálculo de los coeficientes se tiene, si f es la función que representa la serie, que:

$$a_0=\frac{1}{T}\int_0^T f(x)\,dx$$

$$a_n=\frac{2}{T}\int_0^T f(x)\cos n\frac{2\pi}{T}x\,dx \qquad n\geqslant 1$$

$$b_n=\frac{2}{T}\int_0^T f(x)\operatorname{sen} n\frac{2\pi}{T}x\,dx \qquad n\geqslant 1$$

fórmulas ya conocidas por Euler (1707-1783) aunque la teoría fuese desarrollada tiempo más tarde por Fourier (1768-1830).

Véase **Convergencia; Derivada y diferencial; Logaritmo y otras funciones elementales; Progresiones**

Setas

Si, como dice la leyenda, el emperador romano Claudio hubiera sido capaz de reconocer el hongo conocido vulgarmente por "oronja verde" (*Amanita phalloides*), hubiera podido gobernar en Roma durante algún tiempo más. En efecto, Agripina, mujer ambiciosa y sabedora de sus escasos conocimientos, le preparó, a base de este hongo, su "última cena", permitiendo de esta forma que su hijo Nerón se proclamase emperador. Desde entonces Nerón consideró las setas como un "manjar de dioses".

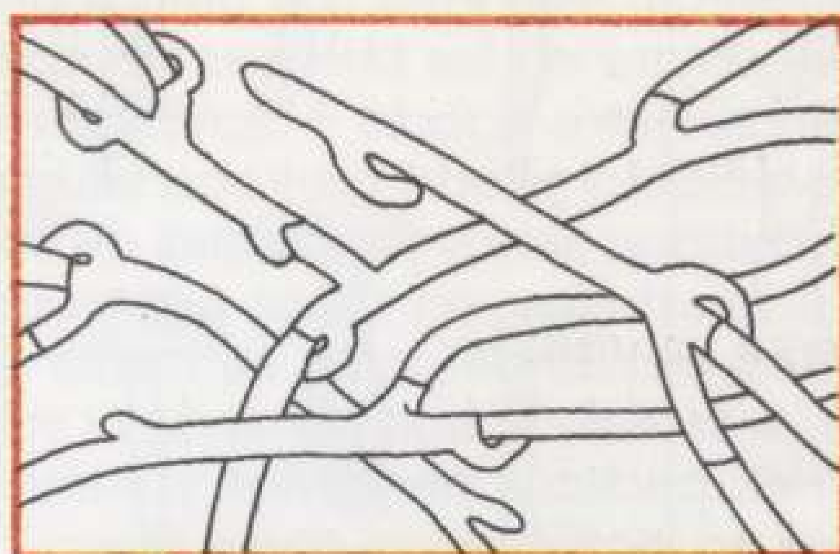
Naturalmente, es difícil reconocer una seta venenosa una vez que se ha cortado en pedazos y se ha guisado con otros ingredientes. Una antigua leyenda sostiene que las setas venenosas ennegrecen las cucharas de plata, pero la mejor forma de saber cuáles son las setas comestibles es conocer las distintas especies. A menos que seamos auténticos expertos, no debemos comer nunca una seta sin haberla identificado previamente en una guía ilustrada, verificando su hábitat, su olor, etc., y consultando nuestra conclusión con un experto.

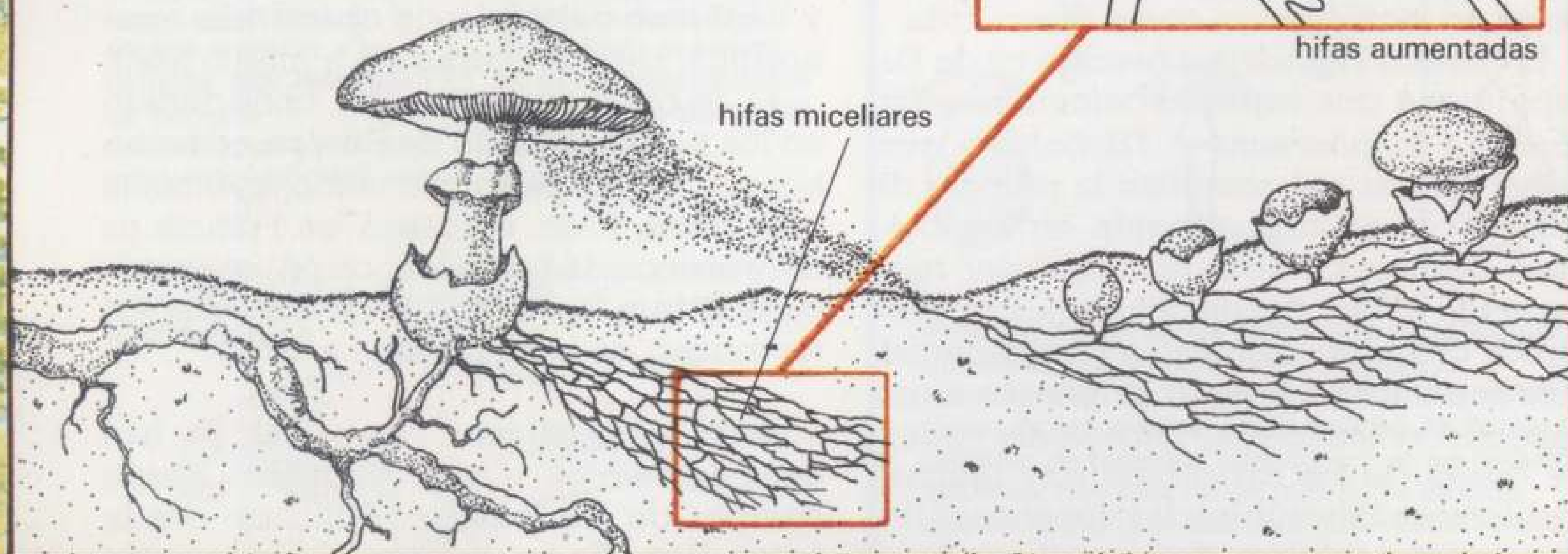
Setas venenosas Los hongos del género *Amanita* son la causa principal de muerte por envenenamiento. La mayoría de las especies de este género tiene el sombrerillo ancho, el pie largo y bastante carnoso y, en su base, restos del velo que recubre en un principio al hongo, el cual termina en una vaina llamada *volva*. El pie termina formando un anillo más bien aplanado, que a veces es subterráneo. Algunas especies tienen también unos puntos blancos en el sombrerillo, que son restos del velo envolvente.

La amanita más venenosa, *Amanita phalloides*, es la causante de más del 90% de las muertes por ingestión de setas; crece



Es frecuente encontrar ciertos hongos cerca de los árboles, debido a la existencia de una asociación mutualista entre las raíces de las plantas superiores y los hongos. En el dibujo, un cuerpo fructífero (carpóforo o seta) del que caen las esporas, que una vez en el suelo originarán nuevas hifas (parte vegetativa); de las hifas, a su vez, crecerán nuevos cuerpos fructíferos.





Cantharellus cibarius

Amanita muscaria

Amanita phalloides

Armillaria o *Armillariella mellea*

Agaricus hortensis

Morchella esculenta

en los bosques caducifolios y de coníferas entre agosto y octubre, y es muy común en Europa. Su color varía del verde oliva al blanco. El sombrerillo mide hasta 15 cm; el pie, esbelto y ensanchado en la base, puede medir hasta 20 centímetros.

La volva, separada del pie, es irregular, casi desflecada en los bordes. Cuando están en el suelo, las oronjas verdes no huelen a nada, pero una vez arrancadas se tornan rápidamente malolientes.

Casi siempre resulta fatal la ingestión de estas setas, ya que las amanitas provocan violentas gastroenteritis (inflamaciones del estómago acompañadas de dolores y diarrea) que conducen a un estado de coma. Por lo general, la muerte sobreviene al décimo día. La amanitina, una de las toxinas contenidas en el género *Amanita*, afecta gravemente el hígado y los riñones.

Recientemente se han obtenido resultados positivos, aunque aislados, empleando un tratamiento de diálisis para los envenenamientos que afectan al hígado. Pero este remedio todavía se considera experimental, y no sirve para curar todos los casos que se presentan.

Otra seta venenosa es la *Amanita pantherina*, bastante común en verano y otoño en los bosques de frondosas y coníferas. Tiene unas protuberancias blancas sobre el sombrerillo de color gris. Aunque normalmente no es mortal, es muy tóxica y provoca delirios y espasmos musculares. Cuando se come en pequeñas cantidades, constituye un alucinógeno que no tiene especiales efectos tóxicos.

Otra seta tóxica (cuando no se cuece) es la *Amanita muscaria*, también conocida por falsa oronja o matamoscas. Tiene un sombrerillo rojo vivo con puntos blancos; suele crecer en los bosques de abedules y pinos, entre agosto y noviembre. Esta seta también puede provocar alucinaciones, delirios, serios problemas de estómago e intestino y, en casos especialmente graves, estado de coma. La toxina que se extrae de este hongo cortando el sombrerillo en pedazos pequeños y sumergiéndolos en leche se usa como insecticida.

El género *Tricholoma* (exclusivo de Europa) tiene dos especies venenosas, *Tricholoma sulphureum* y *Tricholoma aestuans*. Ambas son amarillas; la primera de ellas brota abundantemente en los bosques de robles, y tiene un fuerte olor, muy parecido al del gas del alumbrado. La segunda crece en los pinares y es especialmente peligrosa porque se parece a una especie comestible, la *Tricholoma equestre* o seta de los caballeros. Hay muchas tricolomas comestibles; las venenosas tienen un tono más oscuro.

El *Lactarius* es otro género que comprende especies venenosas, aunque estos hongos se pueden comer una vez cocidos. Como su nombre indica, desprenden un líquido lechoso cuando se cortan. Una especie muy común, el *lactario lanuginoso*, tiene el sombrerillo de color rosa amarillento, mide unos 10 cm cuando es joven y está recubierto de una especie de fieltro por encima del sombrerillo. Muchas especies de este género crecen en los húmedos hayedos.

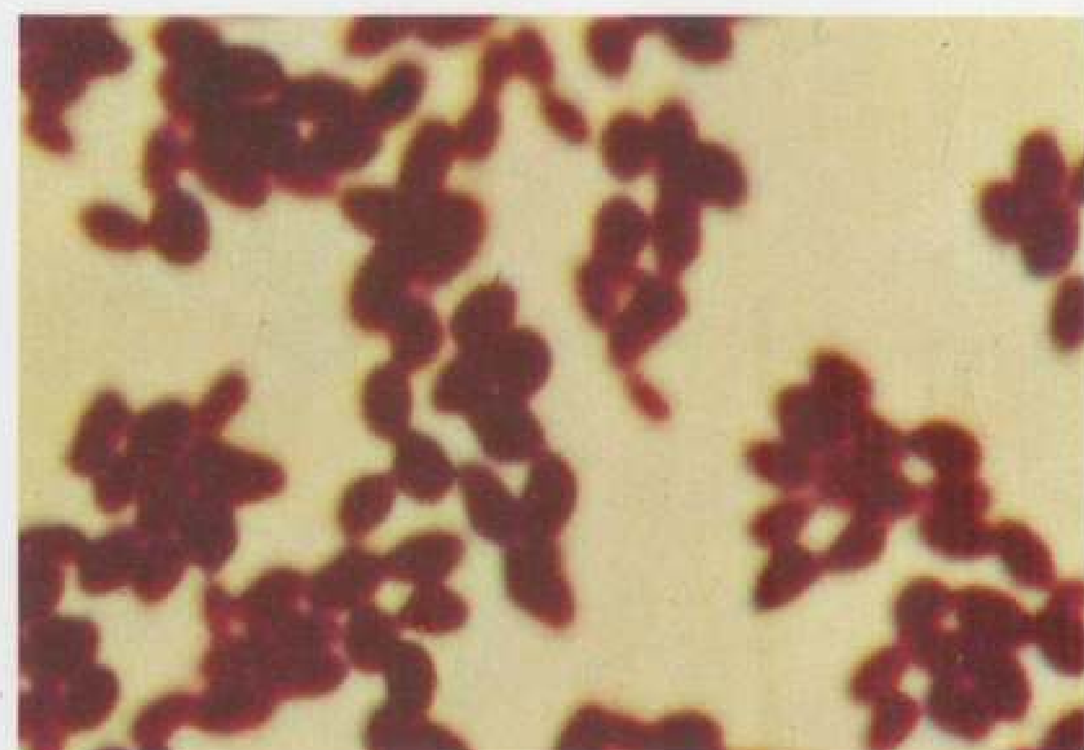
El coprino entintado *(Coprinus atramentarius)*, bastante común, se usaba para hacer tinta; es venenoso (aunque no mortal) cuando su efecto se suma al del alcohol. Los síntomas son náuseas, sensación de quemazón por todo el cuerpo y aceleración del pulso. Se ha empleado en pequeñas dosis para la curación de los alcohólicos, ya que los síntomas mencionados se repiten si se bebe alcohol, aunque no se haya comido el hongo.

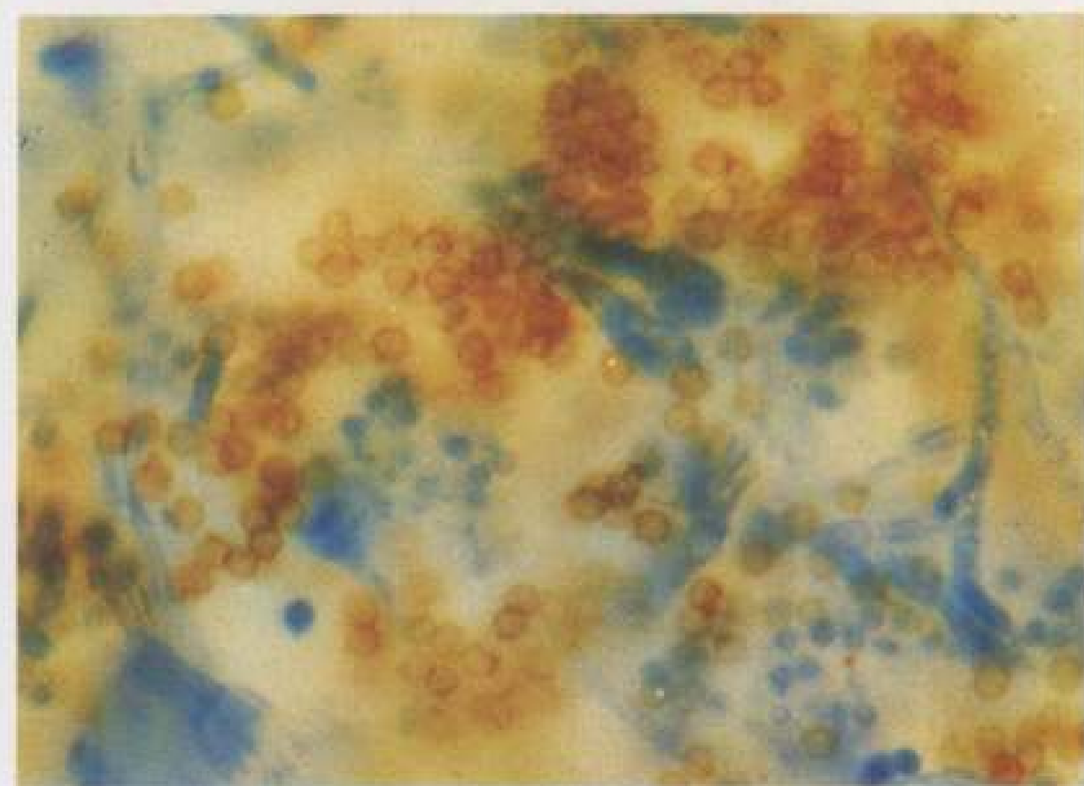
La mayoría de las especies de este género crecen agrupadas en torno a los troncos de los árboles; ciertas setas alcanzan un tamaño considerable (18 cm de altura) y tienen un color blanco opaco. Los sombrerillos parecen paraguas a medio abrir.

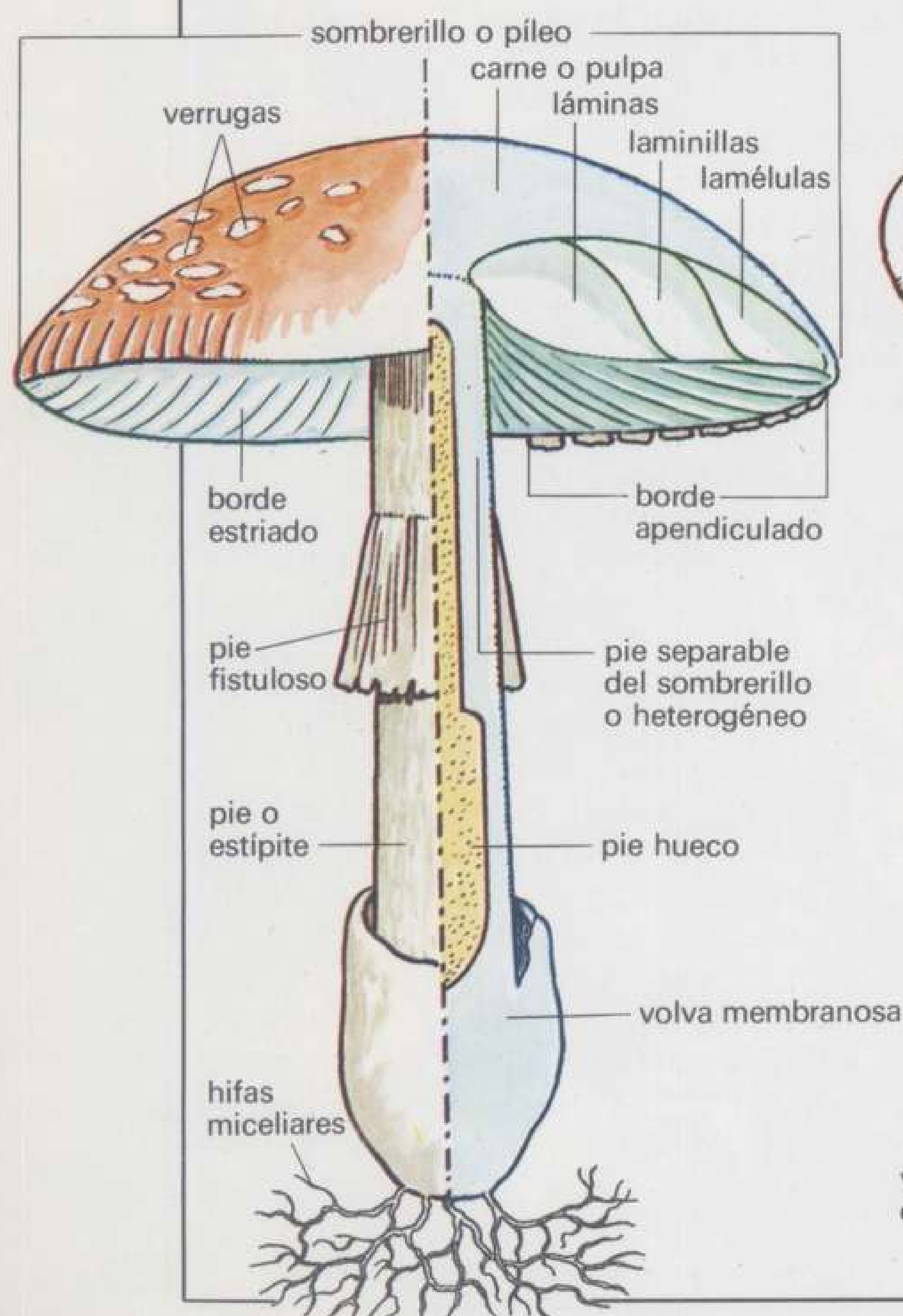
El *Paxillus involutus* está considerado en los países del este de Europa como un hongo casi tan peligroso como la *Amanita phalloides*, y, sin embargo, en Francia es muy apreciado (previa cocción): y es que sucede que la valoración de las setas varía mucho de unas culturas a otras.

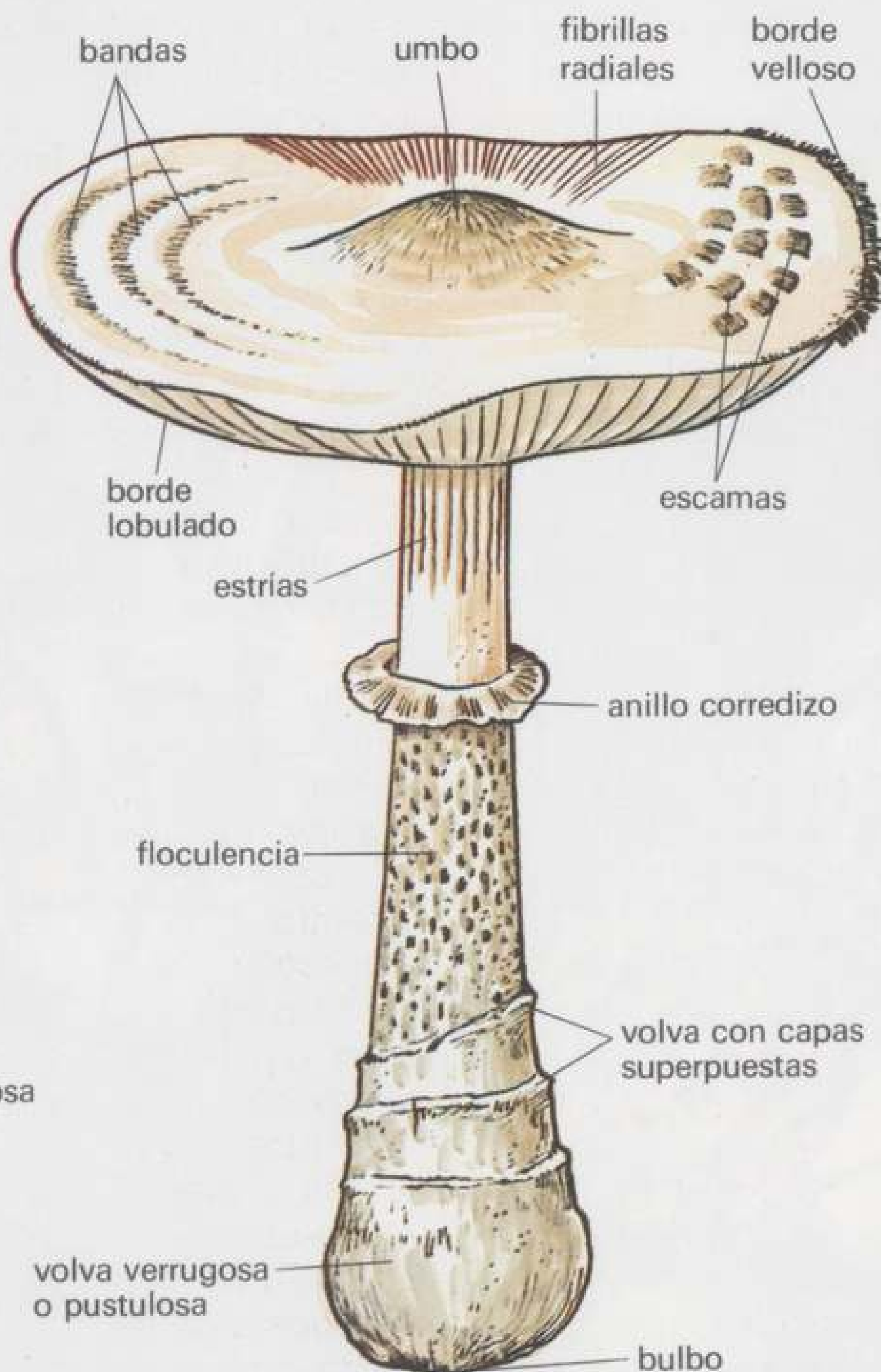
Setas comestibles Las setas se han considerado un manjar exquisito desde tiempos de los romanos, e incluso desde antes. Hoy día se incluyen en los menús de todos los países, aunque son propias sobre todo de las zonas frías y templadas.

Una seta especialmente llamativa (se parece a un narciso) y de sabor delicioso es el rebozuelo (*Cantharellus cibarius*). El



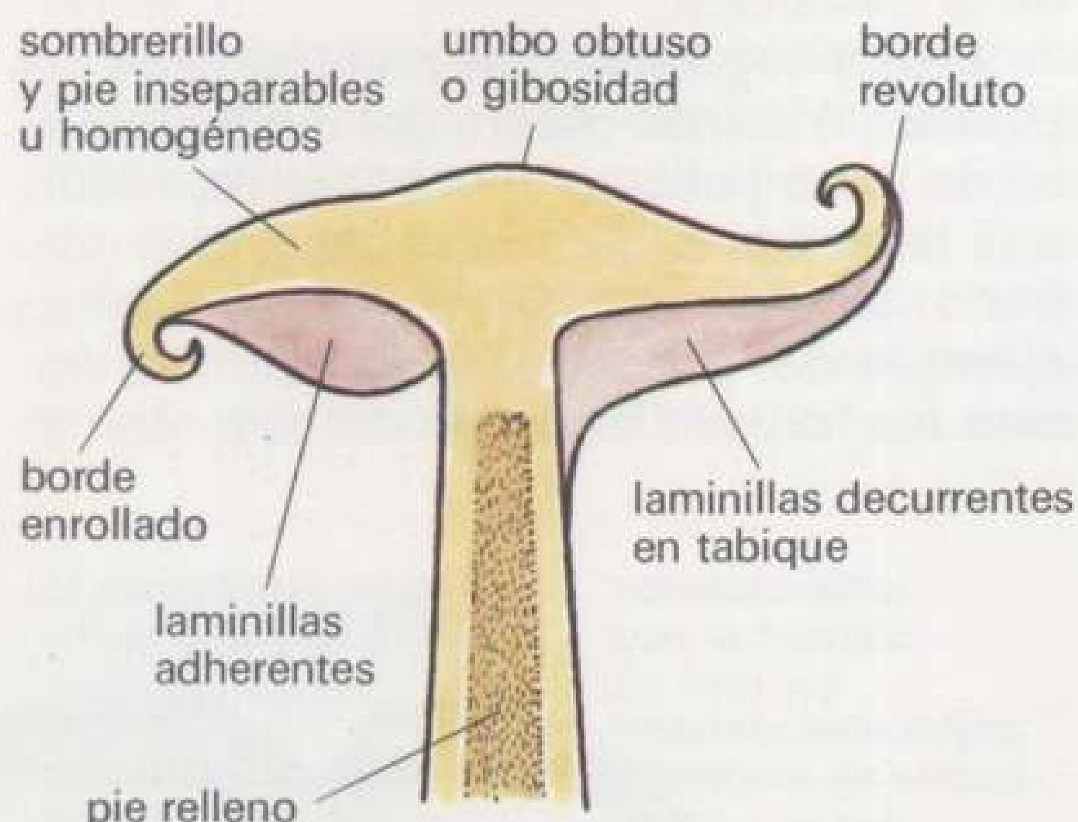


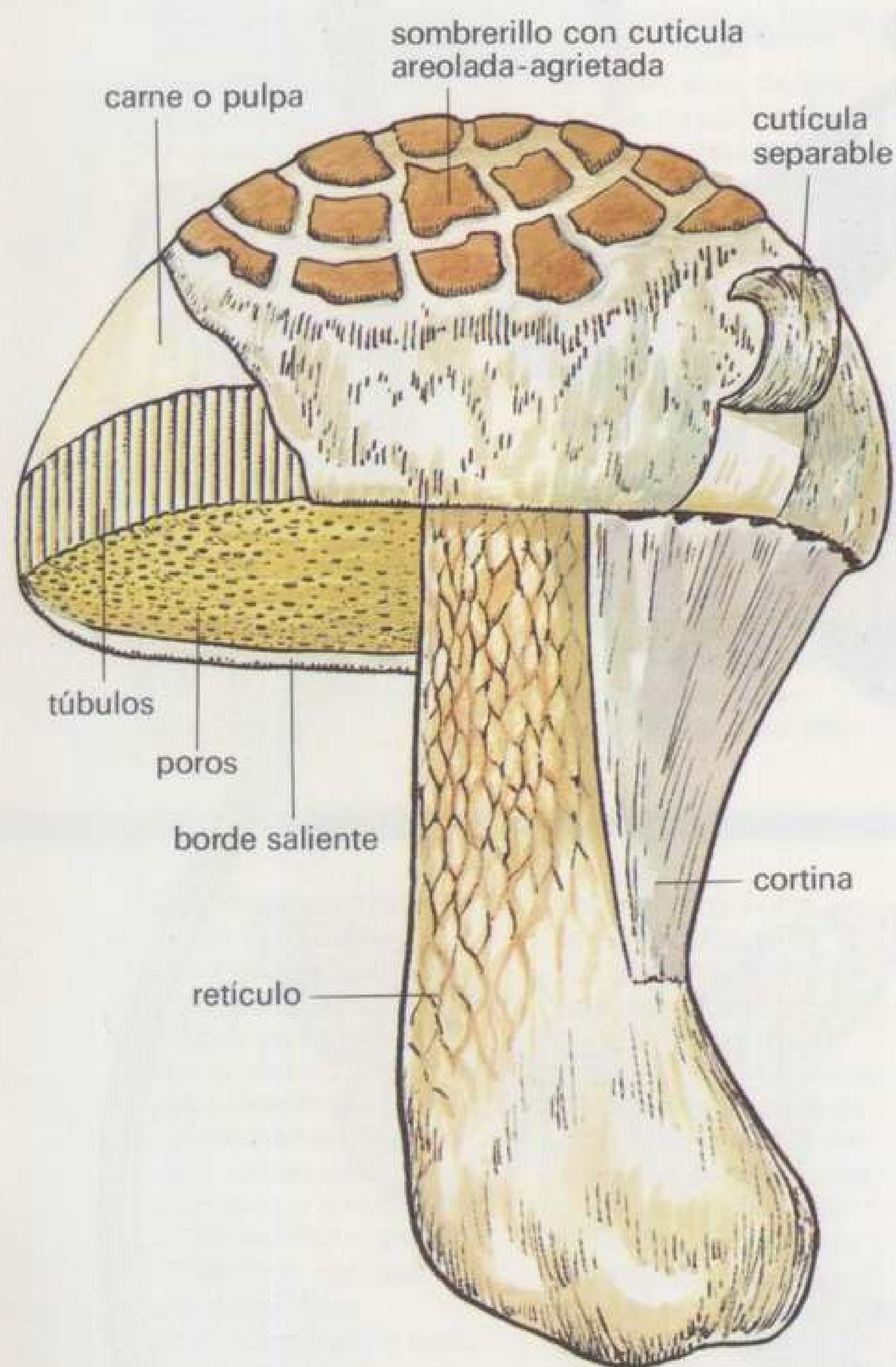


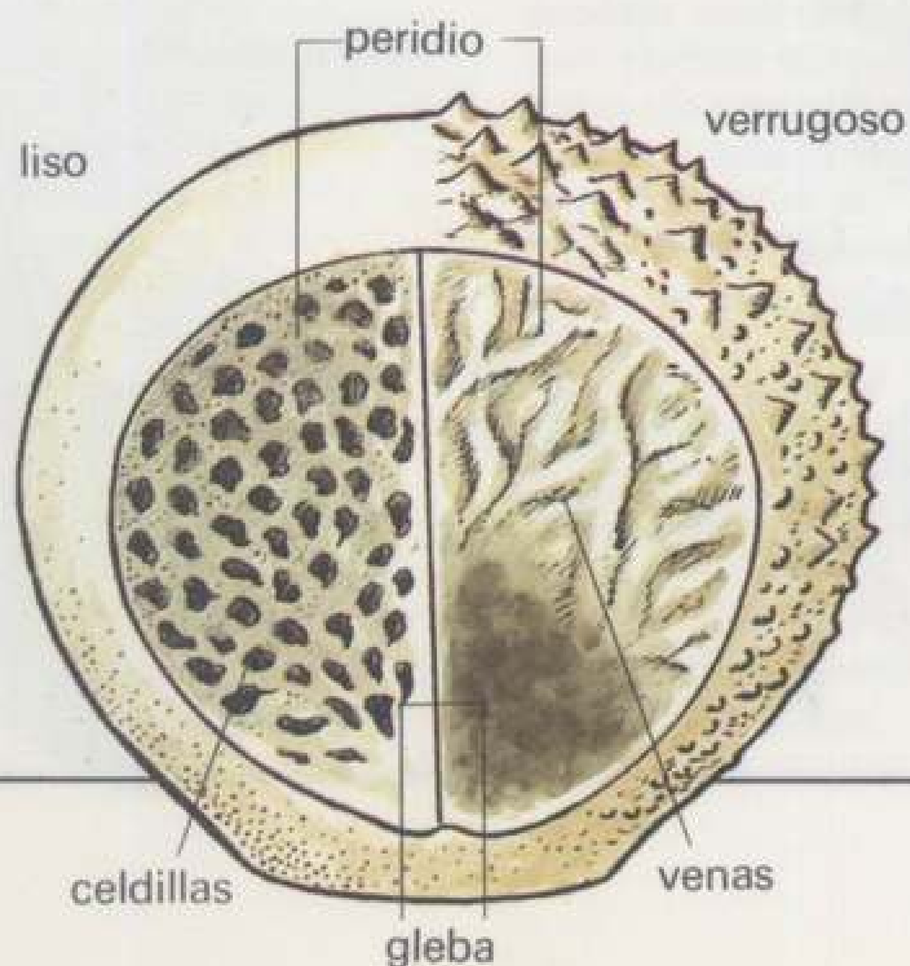


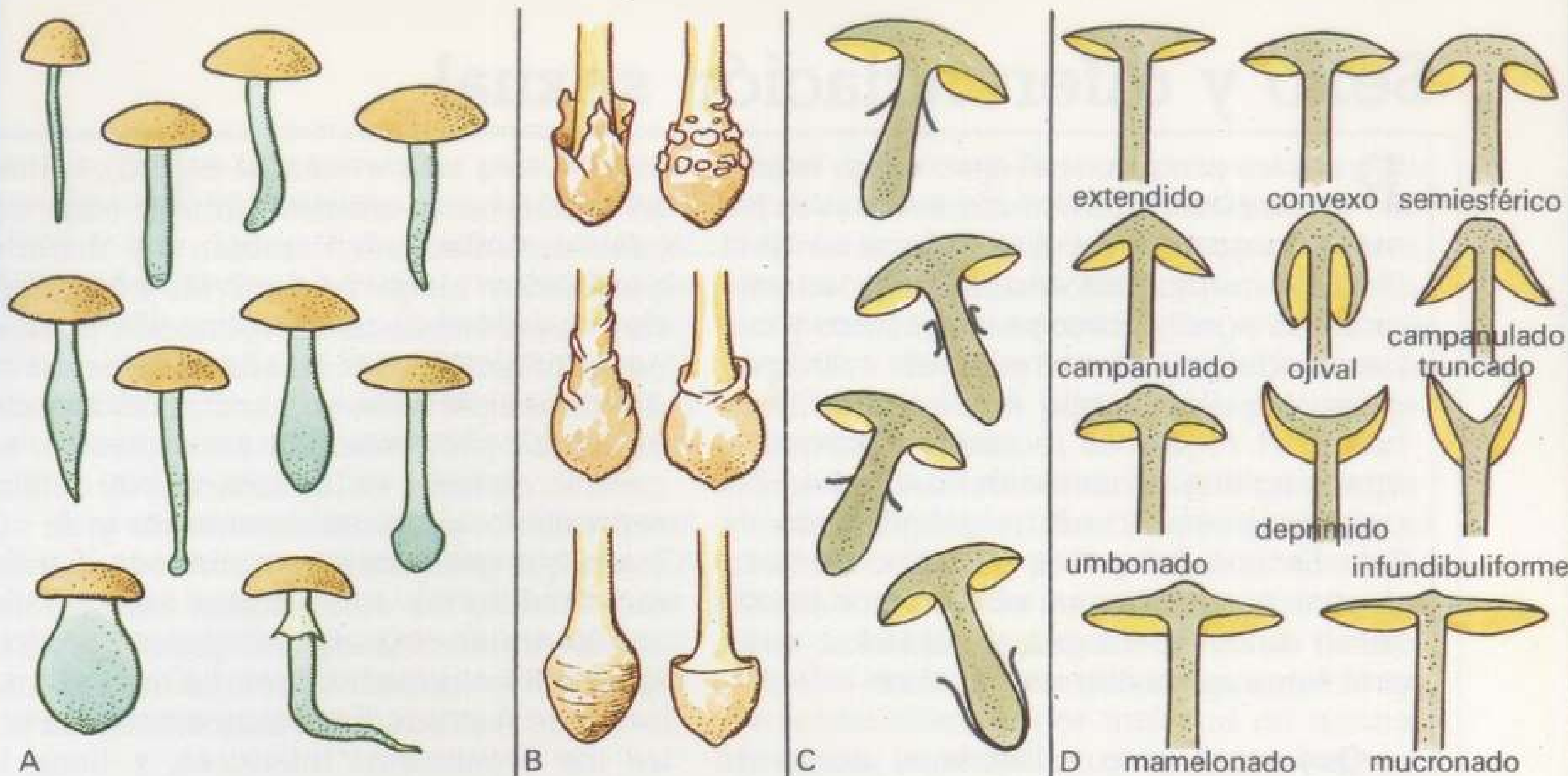
Dado que la recolección de hongos se hace sobre todo con fines alimenticios, y que entre las especies más corrientes hay muchas que son venenosas, es preciso analizar todas las que se han recogido para identificarlas sin ningún género de duda. Constan de una parte subterránea y otra que sale de la tierra (la seta), que es la que hay que examinar para identificar la especie. A la izquierda, los esquemas de las partes externa e interna de una seta ponen en evidencia las partes comunes, que adoptan formas y colores variados según las especies.
El cultivo de hongos no es posible para todas las especies, y requiere un ambiente preparado de forma especial.
De todos modos, al no depender de la fotosíntesis para su alimentación, se pueden cultivar en locales cerrados, ya que extraen el alimento de suelos enriquecidos en materia orgánica.

Abajo, en esta columna, otras de las características morfológicas externas e internas de la seta que se examinan para llegar a su identificación. Arriba y en el centro, dos setas con pie y sombrerillo, y, abajo, una seta con forma esferoidal. En la página anterior, a la derecha, dos ejemplos de hongos microscópicos vistos al microscopio óptico, que tienen un interés enorme para la vida del hombre. Arriba, las levaduras, hongos pertenecientes a los Sacaromicetos; se emplean en la fabricación del pan y en la fermentación del mosto. Abajo, *Penicillium*, usado en la preparación de ciertos quesos. Del *Penicillium notatum* se extrae el antibiótico más antiguo (años 40) y conocido: la penicilina.









Arriba, algunos de los elementos característicos que se toman en consideración para la identificación de los hongos. En A se trata de la forma de los pies, tal como quedan en la mano después de haberlos arrancado con un pequeño esfuerzo. Hay que fijarse más en la sección que en la forma exterior, ya que, como vemos, es muy diversa. En B se trata de la forma de las volvas, y en C de la de los anillos. Por último, en D, la forma del sombrerillo. Es difícil que dos hongos de distinta especie tengan las cuatro partes con iguales características; si se da este caso, hay que llevar a cabo la identificación por otros medios, como el de las laminillas e incluso el de las esporas, que se observan a simple vista o al microscopio.

pie tiene forma de vaso y el sombrerillo se asemeja enormemente a los pétalos de una flor. Crece en las zonas de hierba de los bosques caducifolios.

Otro ejemplar destacable pertenece al género *Tricholoma* (*T. personatum*) y recibe el nombre de "pie violeta" por el color violeta azulado del mismo. El borde del sombrerillo se enrolla hacia arriba y hacia abajo, como los raíles de una montaña rusa. Los pies violeta crecen en los claros herbáceos y suelen aparecer formando círculos. Una especie similar es el *Tricholoma nudum*, de un bonito color lila que, al envejecer, se transforma en marrón herrumbroso. Estas setas necesitan un suelo rico en sustancias nutricias y por eso crecen bien en los montones de estiércol.

Una especie muy apetitosa es el *Boletus edulis*, también llamado calabaza. Es marrón, tiene el sombrerillo carnoso y el pie bulboso; crece en prados abiertos y bosques.

La "seta ostra" (*Pleurotus ostreatus*) recibe este nombre porque se parece a la valva de una ostra. Tiene color blanco y crece directamente sobre los troncos de los árboles de cualquier tipo, pero sobre todo de los robles.

Al género *Lactarius* pertenece el conocido níscalo (rovelló, en catalán) que crece en bosques de coníferas (*L. deliciosus y L. sanguifluus*). Tiene el sombrerillo carnoso, convexo, que acaba tomando forma de copa; su color es anaranjado y con el tiempo se va poniendo verdoso.

La seta de cardo (*Pleurotus eryngii*) es también muy apreciada; crece en verano y otoño sobre viejas plantas de cardo corredor (*Eryngium campestre*). Tiene el sombrerillo convexo con el borde enrollado, de color gris parduzco o pálido, el pie blanquecino y la carne blanca.

Las trufas, hongos tuberiformes y subterráneos, son tal vez los más cotizados como comestibles. La trufa de verano (*Tuber aestivum*) y la de invierno (*Tuber brumale*) son unas bolitas verrugosas y negruzcas que crecen bajo tierra, por lo que se suelen emplear perros especialmente adiestrados para localizarlas.

Estas que hemos mencionado son sólo algunas de las setas comestibles más buscadas y fáciles de reconocer, entre la veintena de especies que se pueden comer con absoluta seguridad.

El cultivo de setas se ha convertido en algo bastante frecuente, pues su recolección en el campo lleva bastante tiempo y, además, la demanda supera con creces la producción natural.

Se suelen cultivar en cajas, sobre estiércol esterilizado. Al igual que las que crecen espontáneamente, no dependen de la fotosíntesis para su alimentación, pues extraen el alimento del suelo enriquecido en materia orgánica, por ello no necesitan mucha luz y se pueden cultivar en locales cerrados.

En Asia se han cultivado hongos desde hace muchos siglos. En Japón se cultivan los *shitake* en grandes cantidades; son marrones, con un pie más bien corto y un sombrerillo bastante duro. Se desecan en grandes cantidades y se exportan a Europa y Norteamérica, donde se les considera un alimento exquisito.

Las setas como alimento Hoy día las setas se suelen servir acompañando a la carne o al pescado. De todas formas, se cuenta que cuando Charles Darwin viajaba por Sudamérica descubrió una tribu india que tenía una dieta basada casi exclusivamente en una determinada especie de hongo, la *Cyttaria darwinii*.

Las setas son pobres en calorías, pero muy ricas en vitaminas B y D, así como en cobre y hierro (hay especies, como el *Boletus edulis*, que poseen además un abundante contenido en vitamina A). También son relativamente ricas en proteínas, y se emplean con éxito como suplementos proteínicos en la alimentación de cerdos, peces, pollos y, en Finlandia, incluso de los bobinos.

Véase **Botánica; Toxinfecciones alimentarias**

Sexo y diferenciación sexual

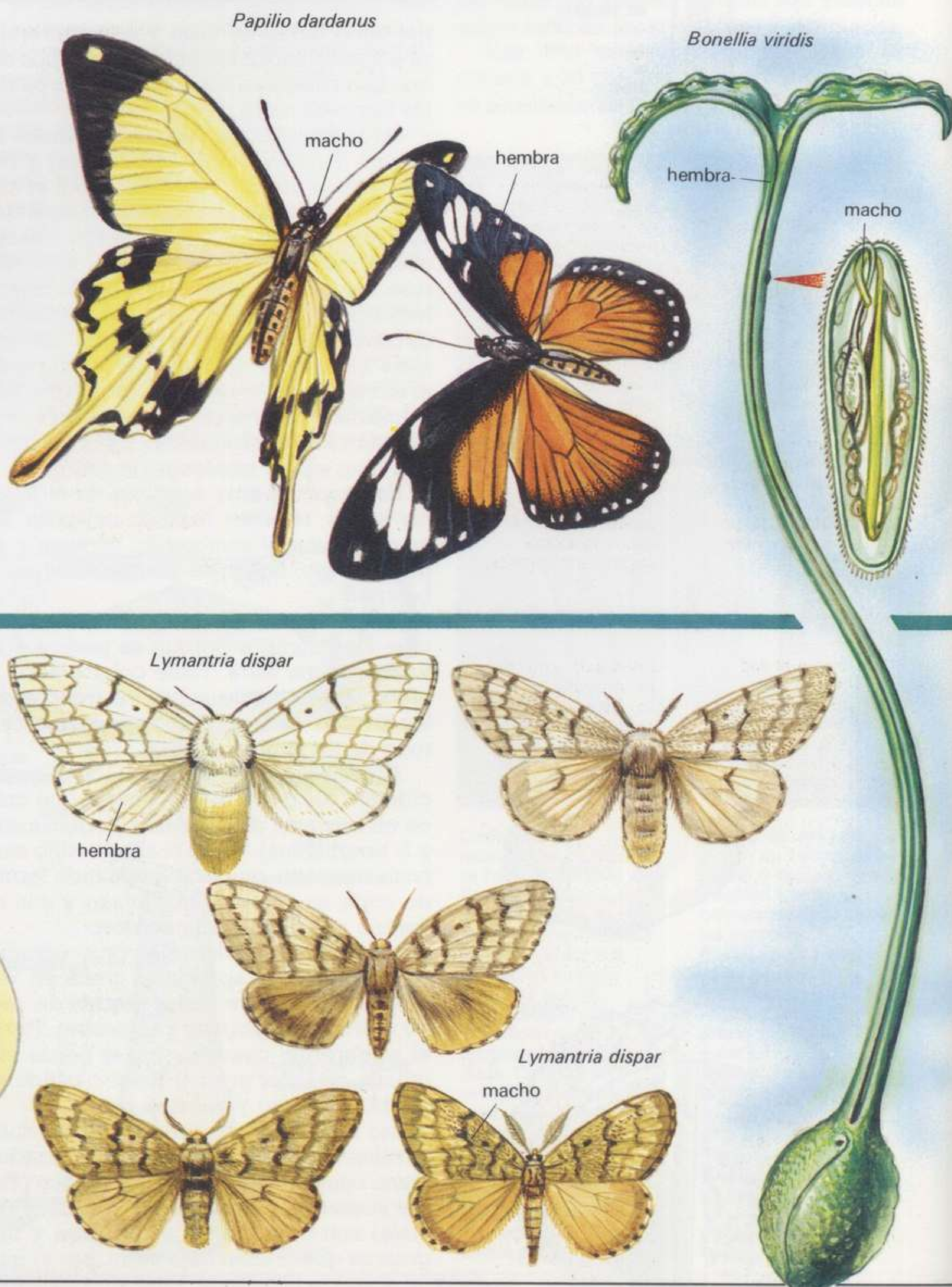
Para los pingüinos el sexo es un asunto complicado. En efecto, estas aves parecen incapaces de distinguirse entre sí. Cuando un pingüino macho está "enamorado", se agacha, recoge un guijarro y con paso ondulante va a ofrecérselo a otro pingüino, esperando que éste sea una hembra. Si el regalo es rechazado porque el otro pingüino es un macho o una hembra poco interesada, nuestro pingüino se va. Esta escena del pobre pingüino rechazado, con su guijarro en el pico, nos puede servir de consuelo: ¡la sexualidad no es un problema exclusivo del hombre!

Qué es el sexo Desde el punto de vista biológico, los procesos de fecundación y de reproducción presentan claras diferencias. Mientras que en la segunda siempre hay un aumento de células, en el proceso de fecundación, o bien se reduce su número (dos células sexuales se unen para dar lugar a una sola célula, el *cigoto*), o bien se mantiene el mismo número (dos células sexuales intercambian su material genético y luego se vuelven a separar). Hay varias formas de reproducción: la regeneración, por ejemplo, da lugar a nuevos individuos a partir de yemas o porciones del individuo progenitor; la esporulación, en cambio, consiste en la formación de células reproductoras, generalmente en gran número, que genéticamente son todas similares. Cuando las condiciones ambientales son favorables, las esporas germinan y dan lugar a nuevos individuos. Se trata de una forma de reproducción muy extendida entre los organismos inferiores, y tiene la ventaja de facilitar enormemente la dispersión geográfica de la especie. De esta forma, organismos con poca movilidad, como los hongos, se han dispersado por toda la Tierra. Pero hay una evidente desventaja: al ser todos los individuos resultantes muy similares entre sí, cualquier cambio brusco de las condiciones ambientales puede dar al traste con toda la descendencia. El "invento" de la sexualidad ha solucionado este problema. Gracias a ella se intercambia material genético entre los progenitores y tienen lugar nuevas combinaciones, por lo que la descendencia, a pesar de que consta generalmente de muchos menos individuos, es más versátil frente a las condiciones ambientales y posee mayor vigor genético. Por eso se ha dicho que la sexualidad, junto con la mutación, son la "materia prima" de la evolución.

Sexo y reproducción pueden estar separados o unidos dentro del ciclo biológico de un organismo. A una fase reproductora le puede seguir una sexual, o al contrario. En el alga *Spirogyra* vemos un ejemplo del primer caso: primero se forman los largos filamentos del alga por di-



El sexo cromosómico de un individuo se determina en el momento de la fecundación, si bien tanto el aparato genital masculino como el femenino derivan de un esbozo idéntico en ambos casos. Durante la vida intrauterina, los genitales de los mamíferos se van diferenciando según el esquema ilustrado junto a estas líneas.



visión celular (mitosis), y luego tiene lugar el proceso sexual, que en este caso se llama *conjugación*, en el que se forman puentes entre células de distintos filamentos y la masa celular de una de ellas pasa a la otra y se fusiona con ella. Las células que no se han conjugado mueren en la estación fría, mientras que las otras, llamadas *cigosporas*, permanecen en vida latente hasta que empieza el buen tiempo y se repite el ciclo. En la mayoría de los organismos, por el contrario, al proceso sexual le sigue inmediatamente el reproductor, que consiste en el crecimiento del embrión.

La reproducción sexual constituye una forma de adaptación evolutiva, una vía más complicada pero más eficaz y segura de conservar y difundir la especie. También tiene sus inconvenientes, sobre todo el hecho de que los dos individuos sexualmente diferenciados, el macho y la hembra, se tienen que encontrar para aparearse. Por eso, en animales con poca movilidad o que tienen vida parásita se da el *hermafroditismo*, es decir, la existencia de dos sexos en un mismo individuo. No obstante, la mayoría de los animales presenta una diferenciación sexual en machos, que producen los espermatozoides, y en hembras, que producen los óvulos.

A nivel cromosómico, los cromosomas X e Y son los que determinan el sexo. En la especie humana, por ejemplo, las mujeres se caracterizan porque tienen dos cromosomas X, mientras que los varones poseen un cromosoma X y otro Y.

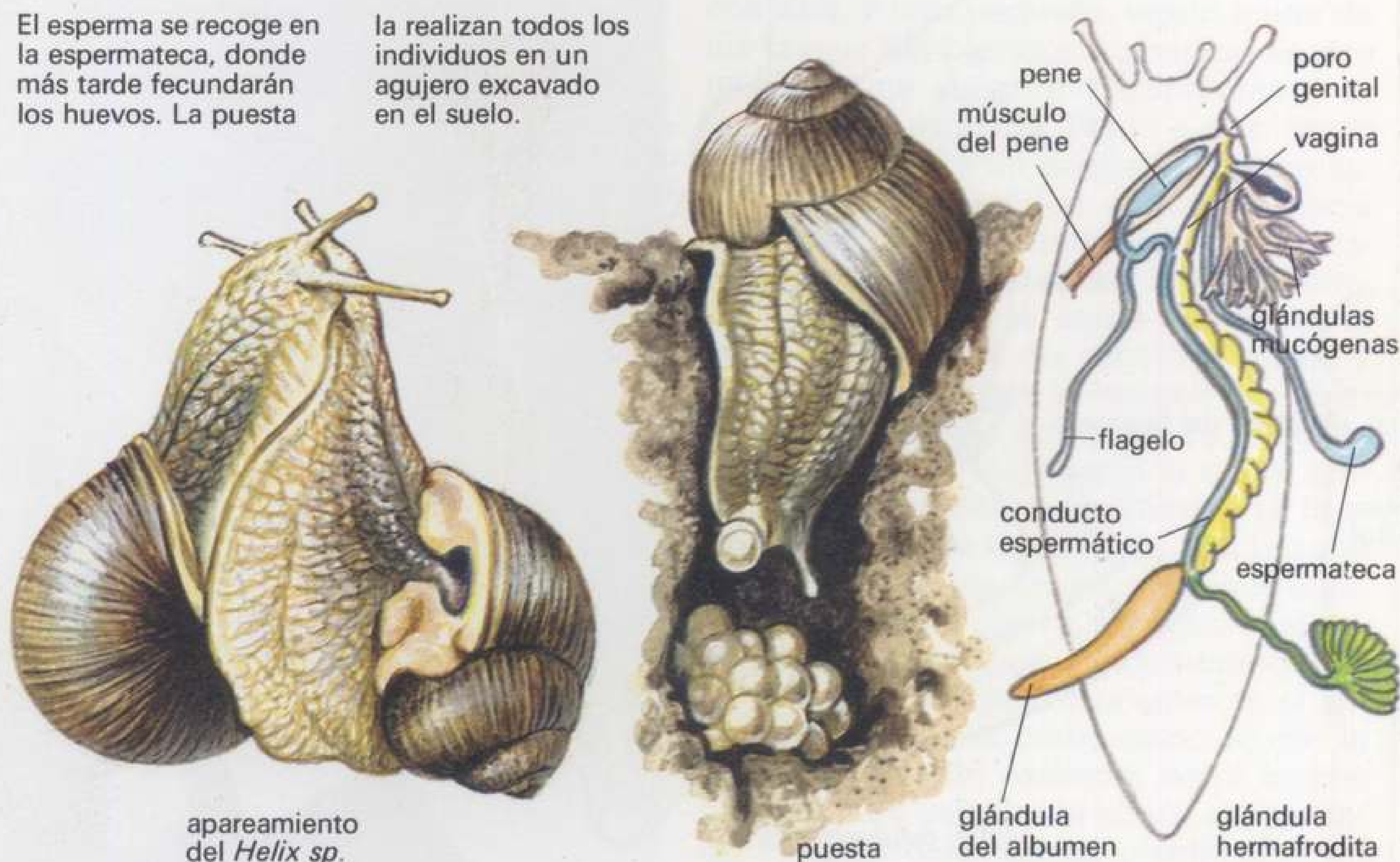
Comportamiento sexual En los animales, la diferenciación entre individuos machos y hembras también implica un reparto de papeles, tanto en el apareamiento como en el cuidado de la prole. En los animales superiores, el macho generalmente tiene que competir con otros para poder aparearse con la hembra y realizar un cortejo nupcial, que según las especies puede consistir en una serie precisa de movimientos (danza nupcial), en el canto o la emisión de determinados sonidos, en la exhibición de un plumaje de colores llamativos, etcétera.

La sexualidad humana tiene un componente psicológico tan desarrollado que el comportamiento y el ritual con ella relacionado requiere un estudio aparte, ya que, además, es objeto de vivas controversias entre los científicos, porque al estar condicionada por multitud de normas presenta aspectos muy variados y diversos en todas las culturas.

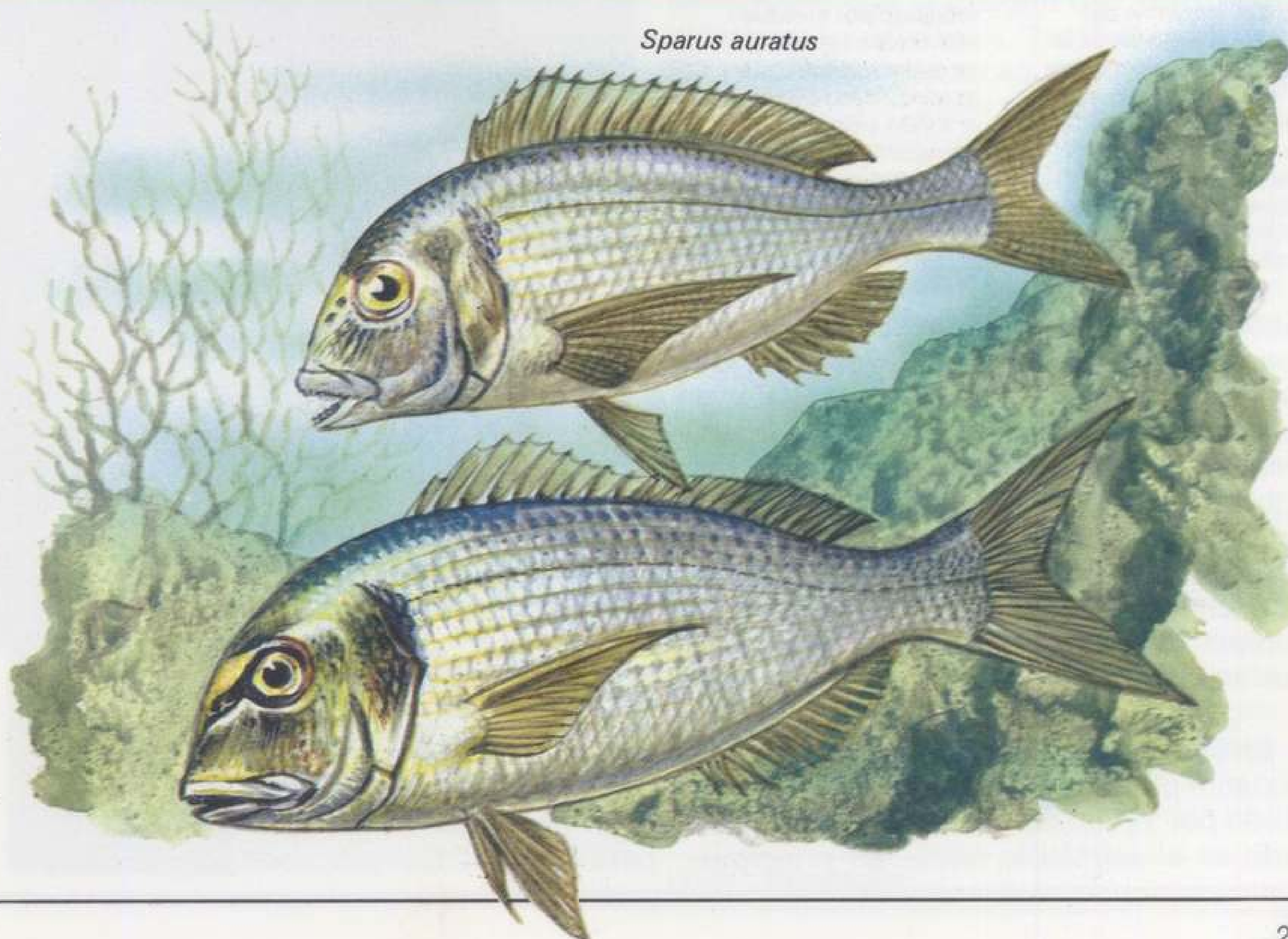
Véase **Concepción; Comportamiento animal; Cromosoma; Fecundación e inseminación artificial; Hembra; Macho; Reproducción**

El dimorfismo sexual en un organismo vegetal o animal expresa una diferenciación entre los dos sexos, tanto en lo que se refiere a los caracteres sexuales primarios como a los secundarios. A la izquierda, un ejemplo de dimorfismo en el *Papilio dardanus*, una mariposa en la que el dimorfismo se manifiesta también en la diferencia de color y de aspecto, ya que muchas veces el macho es caudado. Otro ejemplo: el gusano marino *Bonellia viridis*, cuya hembra puede medir un metro, mientras que el macho, de un milímetro, tiene una relación de comensalismo con la hembra. En muchos invertebrados cuyos miembros de ambos sexos, por sus características físicas o por causas ambientales, tienen pocas posibilidades de encontrarse, los aparatos masculino y femenino coexisten en el mismo individuo para asegurar la posibilidad de apareamiento en el 100% de los casos. Los caracoles (*Helix sp.*) constituyen un conocido ejemplo de hermafroditismo. En la figura vemos dos caracoles en el momento de introducir recíprocamente el esperma en sus respectivas vaginas.

El esperma se recoge en la espermateca, donde más tarde fecundarán los huevos. La puesta la realizan todos los individuos en un agujero excavado en el suelo.

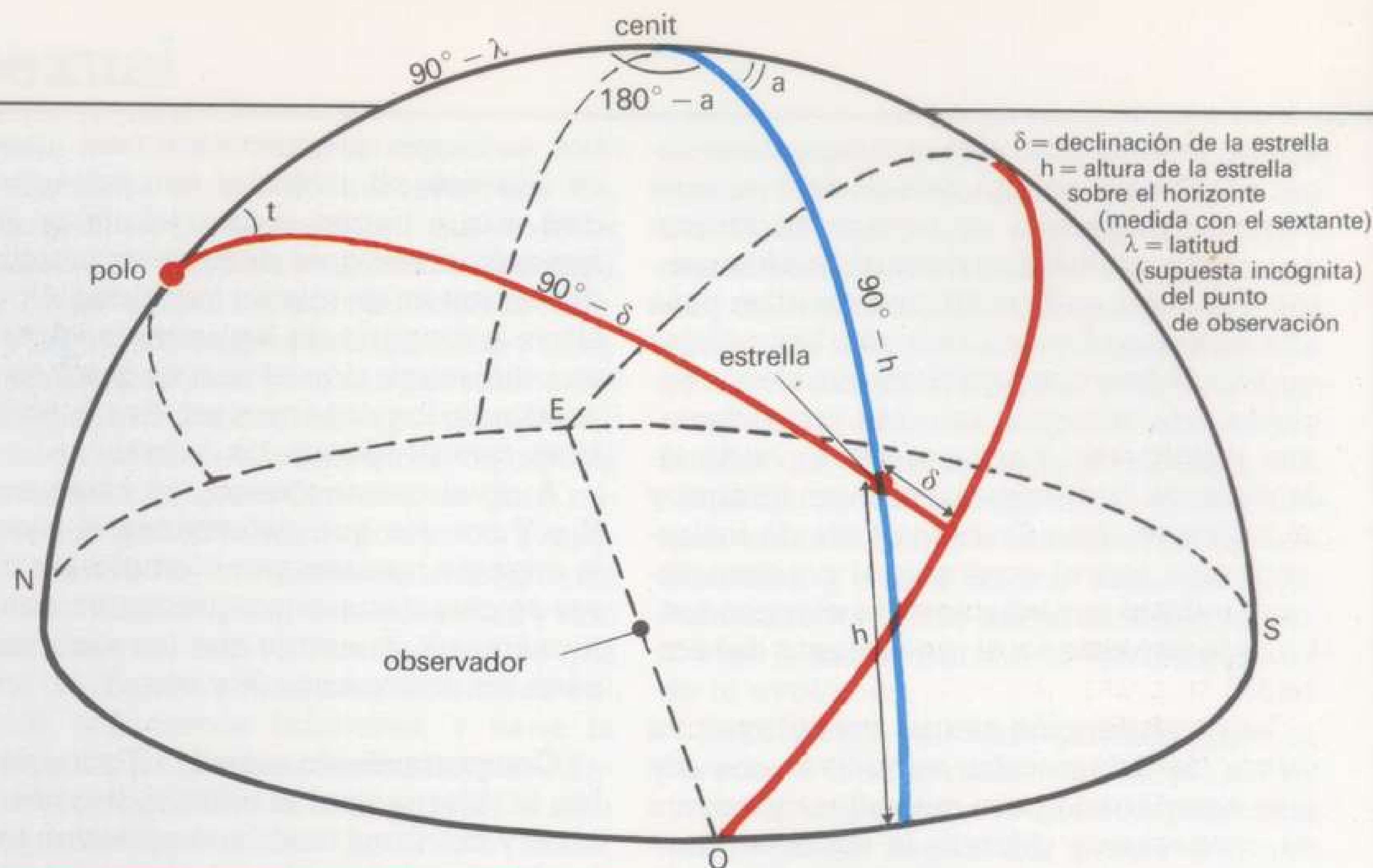


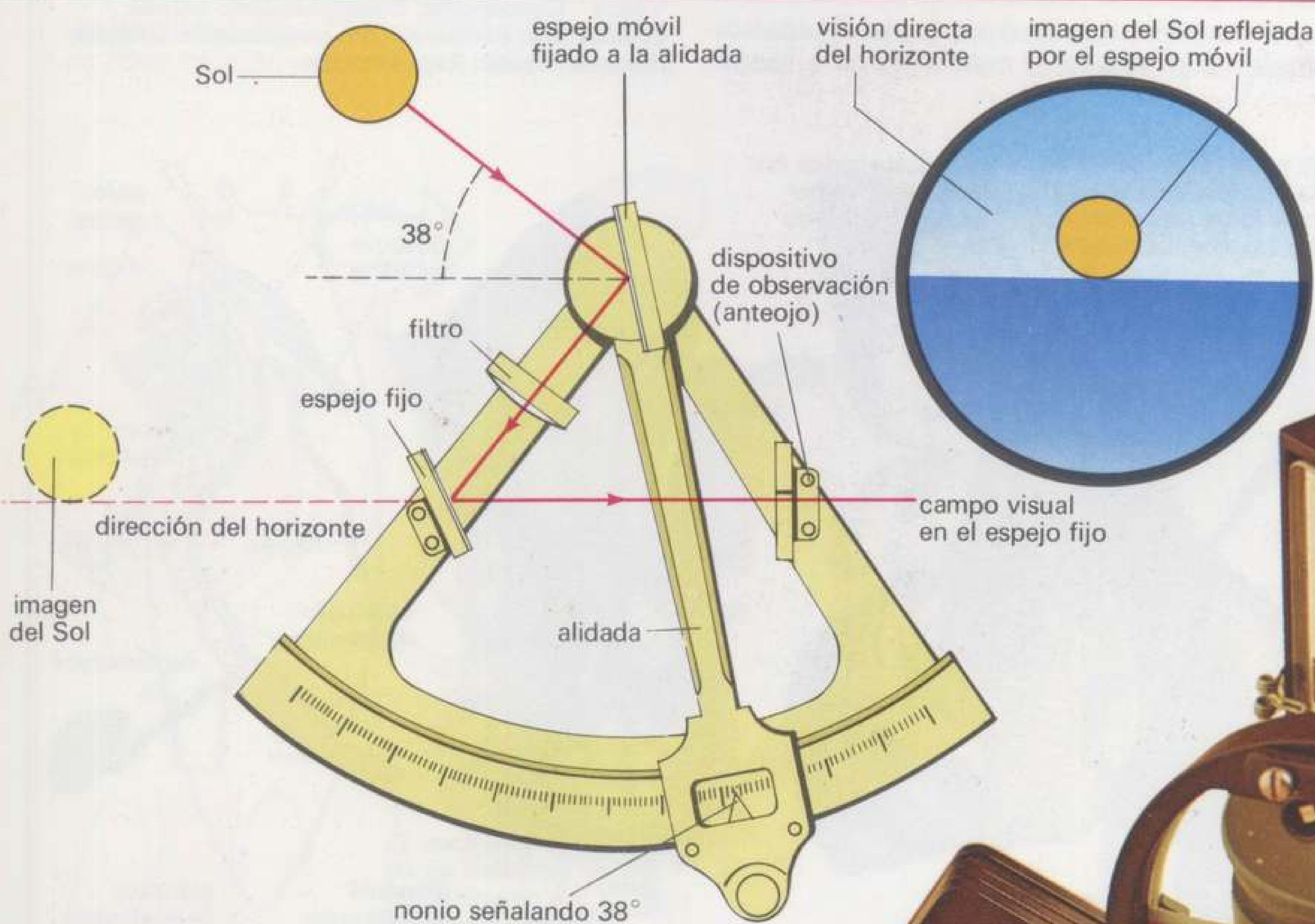
La intersexualidad es un fenómeno que consiste en que algunos organismos inician su desarrollo como individuos de un sexo determinado, y en un momento de su vida sufren una inversión y continúan su desarrollo como individuos del sexo contrario. Este fenómeno puede estar determinado genéticamente, fisiológicamente o bien a consecuencia de tratamientos hormonales. Se ha estudiado la intersexualidad utilizando razas europeas y japonesas de *Lymantria dispar*: cuando se aparean hembras europeas con machos japoneses se obtienen machos normales e individuos con caracteres intermedios entre los masculinos y los femeninos. En un individuo hermafrodita, la autofecundación puede estar impedida por la disposición de los gonoductos y los órganos copuladores, pero sobre todo por el hecho de que los gametos de cada uno de los sexos se maduran al mismo tiempo. Cuando es el aparato masculino el que madura antes, se habla de proterandria, mientras que cuando es el femenino el primero en madurar se habla de proterogenia. Un ejemplo de proterandria es la dorada (*Sparus auratus*, a la derecha), en la que la parte masculina madura a los dos años, y la femenina a los tres años y siguientes.



Sextante

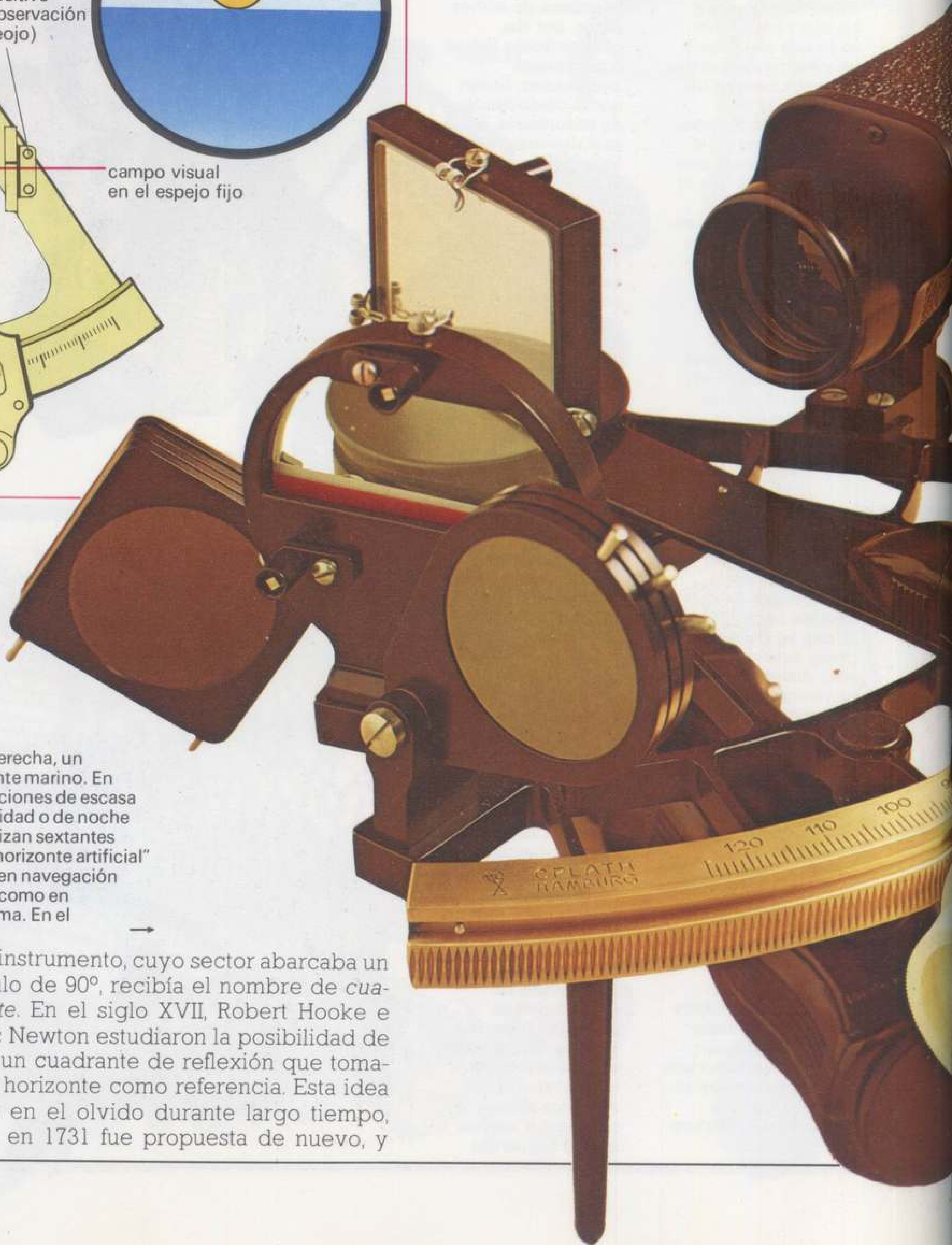
Puede parecer sorprendente que los barcos consigan mantener el rumbo a través del océano, una enorme extensión de agua en la que no existen puntos de referencia respecto a los cuales guiarse. Hace ya muchos miles de años, los polinesios sabían que el método más eficaz para no perderse en las grandes extensiones del océano Pacífico era el de orientarse mediante las estrellas, estudiando cómo variaban sus posiciones a lo largo del año y observando sus desplazamientos en la bóveda celeste durante el viaje. También los vikingos eran capaces de aventurarse en largos viajes guiándose únicamente por las estrellas, en particular por la estrella del Norte o Polar, que permanece "aparentemente" fija en el cielo. Sin embargo, hubo que esperar hasta el siglo XVIII para que la "navegación celeste" comenzara a desarrollarse, pasando de ser un burdo método de observación a la ciencia exacta que es en la actualidad. Hoy en día, los navegantes, sirviéndose de equipos altamente sofisticados, pueden fijar exactamente su posición en términos de latitud y longitud, así como conocer la dirección y velocidad precisas de su movimiento. Uno de los instrumentos más importantes para esto es el *sextante*.





Arriba, esquema del sextante; para medir la altura de un astro sobre el horizonte, se mueve la alidada hasta que la base de la imagen del astro roce la línea del horizonte visible en el anteojo; la imagen llega al observador tras ser reflejada por el espejo móvil sobre el fijo, y se mide la amplitud en grados. Más arriba, la esfera celeste y el triángulo astronómico mediante el cual se deducen las coordenadas de posición.

Invención del sextante El primitivo sextante procede de un instrumento construido por Tycho Brahe en el siglo XVI, basado en el astrolabio árabe. En principio, este instrumento, cuyo sector abarcaba un ángulo de 90º, recibía el nombre de *cuadrante*. En el siglo XVII, Robert Hooke e Isaac Newton estudiaron la posibilidad de usar un cuadrante de reflexión que tomara el horizonte como referencia. Esta idea cayó en el olvido durante largo tiempo, pero en 1731 fue propuesta de nuevo, y



A la derecha, un sextante marino. En condiciones de escasa visibilidad o de noche se utilizan sextantes con "horizonte artificial" tanto en navegación aérea como en marítima. En el →

de forma independiente, por dos fabricantes de cuadrantes para la navegación: John Hadley, de Londres, y Thomas Godfrey, de Filadelfia. En esta época, el armazón del cuadrante pasó de ser un sector de 90° a uno de 45°, por lo que comenzó a llamarse *octante*. Algún tiempo después, en 1757, el capitán John Campbel aumentó el ángulo del sector a 60°, con lo que el instrumento pasó a denominarse *sextante*, nombre que aún se mantiene.



Elementos del sextante marino El sextante marino está formado por un *bastidor* que en su parte inferior lleva adaptado un *limbo* graduado en grados y en subdivisiones de grado. Una *alidada* gira alrededor del centro del limbo y lleva en su extremo un *nonio* que se desplaza rasante a la graduación del limbo. Perpendiculares al plano del limbo están colocados un espejo grande, unido a la alidada y que gira con ésta, y otro pequeño, sujeto a uno de los brazos del bastidor y dividido en dos mitades: una superior transparente y la otra inferior azogada. Unido a otro brazo del bastidor hay un pequeño anteojo astronómico. Si se dirige el anteojo hacia cualquier objeto, cuando los espejos están paralelos, parte de los rayos luminosos procedentes de aquél atraviesan la mitad transparente del espejo pequeño y forman directamente la imagen del objeto, mientras que la otra parte es reflejada por el espejo grande hacia la mitad azogada del pequeño, coincidiendo la imagen formada por estos rayos con la anterior; si en esas condiciones se sigue enfocando el mismo objeto y se gira la alidada hasta que la imagen de un segundo objeto se superponga con la anterior, el ángulo medido en el limbo coincide con la mitad del ángulo existente entre ambos objetos. Para calcular la altura astronómica de un astro, es necesario enfocar el anteojo a la línea del horizonte y girar la alidada hasta que la imagen del astro coincida con aquella línea. Tradicionalmente, los marineros realizaban sus medidas sobre un cierto número de estrellas, calculando trigonométricamente su posición, pero a medida que se ha ido disponiendo de datos sobre las estrellas, el Sol y la Luna, se han realizado extensas tablas que, junto a los cálculos de navegación, han servido para minimizar el margen de error.



Arriba, lo que se ve en el ocular del sextante: astros como el Sol o la Luna, si se alinean correctamente, deben verse como si surgieran directamente del horizonte (tercera imagen). Una vez leída, la altura debe ser corregida con el fin de tener en cuenta la refracción atmosférica (derecha). Esta hace que un astro aparezca más alto (líneas punteadas) de lo que en realidad está. Abajo, corrección para el semidiámetro: dado que se ha medido el ángulo con el borde inferior del astro, es necesario añadir el valor del radio.

→ sextante de la foto, la observación se realiza a través de un catalejo monocular; obsérvense las dos series de filtros cuya finalidad es igualar la luminosidad del astro y la del horizonte.



La discrepancia es tanto mayor cuanto más próximo se encuentra el astro a la línea del horizonte (el valor de la discrepancia es calculable mediante tablas de refracción).



El sextante aéreo Una variedad del sextante marino es el *sextante aéreo* que se emplea con los mismos fines pero a bordo de aviones. Existen muchos tipos, pero todos ellos están provistos de un horizonte artificial, generalmente un nivel de burbuja, debido a que a la altura de vuelo el horizonte aparece poco definido. Por lo demás, el sextante aéreo funciona según los mismos principios que el marino, aunque su precisión suele ser menor.

Véase **Navegación**

Shock

Es sorprendente la capacidad del cuerpo humano para captar el oxígeno de la atmósfera, filtrarlo a la sangre y trasladarlo a todas las partes del organismo a través de los vasos sanguíneos; pero quizá sea todavía más notable la capacidad de reparar o suplir el funcionamiento de cualquier órgano que en un momento dado no funciona correctamente, como ocurre, por ejemplo, cuando la nariz está bloqueada y se respira por la boca. A esto se le podría denominar reacción simple. Sin embargo, no es tan simple lo que sucede cuando el organismo sufre un traumatismo imprevisto, como una quemadura, un corte profundo, un ataque cardíaco o la violenta reacción a un fármaco.

Frente a una emergencia de este tipo, el organismo se ve obligado a reducir el flujo de sangre a ciertos órganos, con el fin de preservar los más vitales: corazón, cerebro y pulmones. La sangre deja de circular por los capilares, con lo cual el oxígeno y otras sustancias nutritivas no llegan a ciertos tejidos y los productos de desecho no pueden ser excretados. Esta disminución de la circulación sanguínea en los tejidos, junto con las consecuencias que conlleva, recibe el nombre de *shock*.

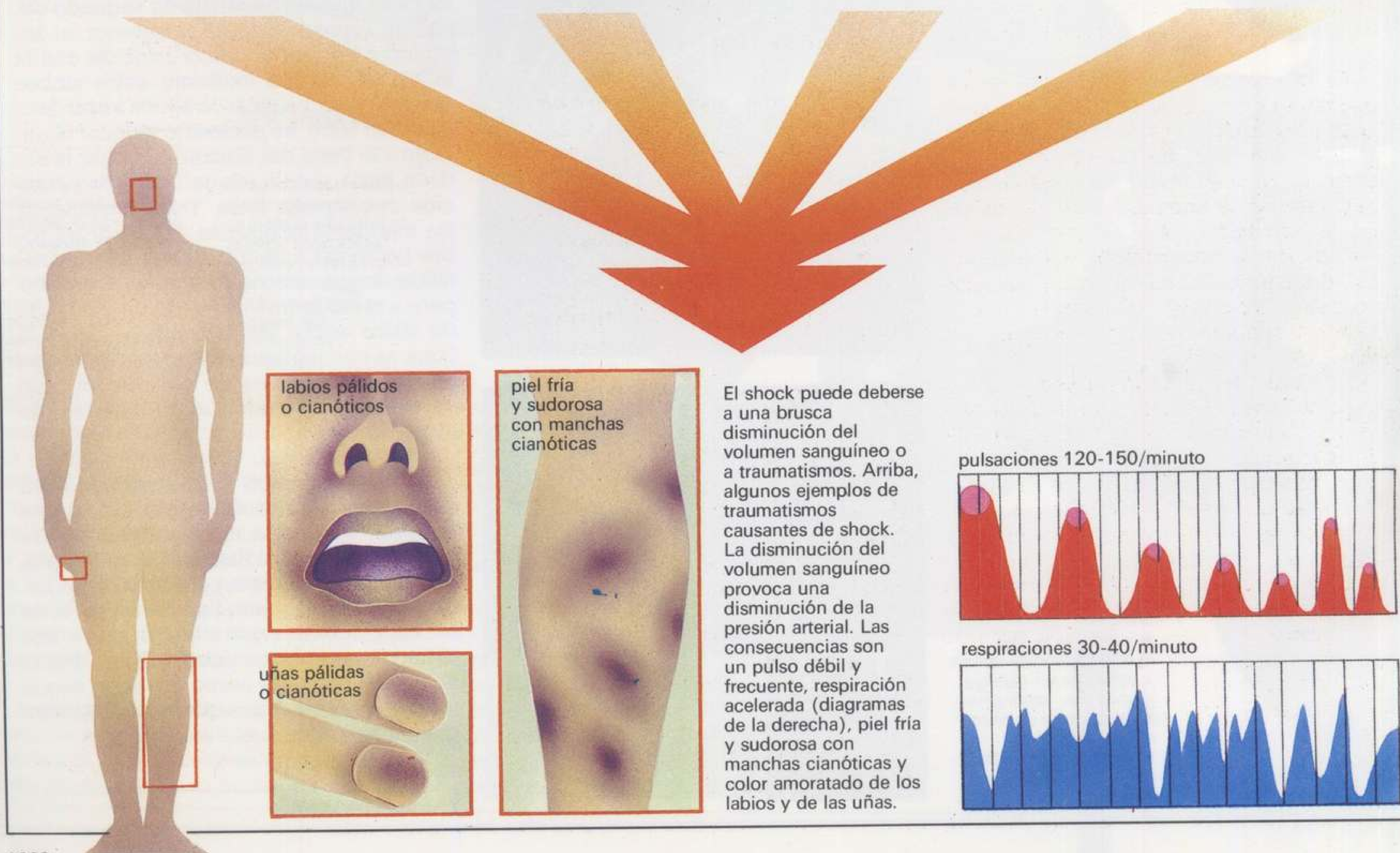
Las causas del shock Para comprender la disminución de la circulación sanguínea que caracteriza al shock, es importante saber en primer lugar cómo circula la sangre en un organismo sano. Como cualquier sistema de bombeo, el sistema circulatorio depende de dos componentes fundamentales: una *bomba* (corazón) lo suficientemente fuerte como para impulsar el *líquido* (sangre) y una red de *conductos* a través de la cual el líquido pueda distribuirse (venas, arterias). Si uno de esos dos elementos sufre alguna alteración, el cuerpo experimenta un colapso.

La pérdida de sangre, que es la causa más frecuente del shock, puede producirse por una herida o por una grave lesión interna, como la perforación de una úlcera. El plasma (la parte líquida y transparente de la sangre) puede perderse a través de la piel como consecuencia de quemaduras graves. La pérdida de un 20% del volumen sanguíneo origina un estado de shock, mientras que la pérdida de un 50% puede conducir a la muerte.

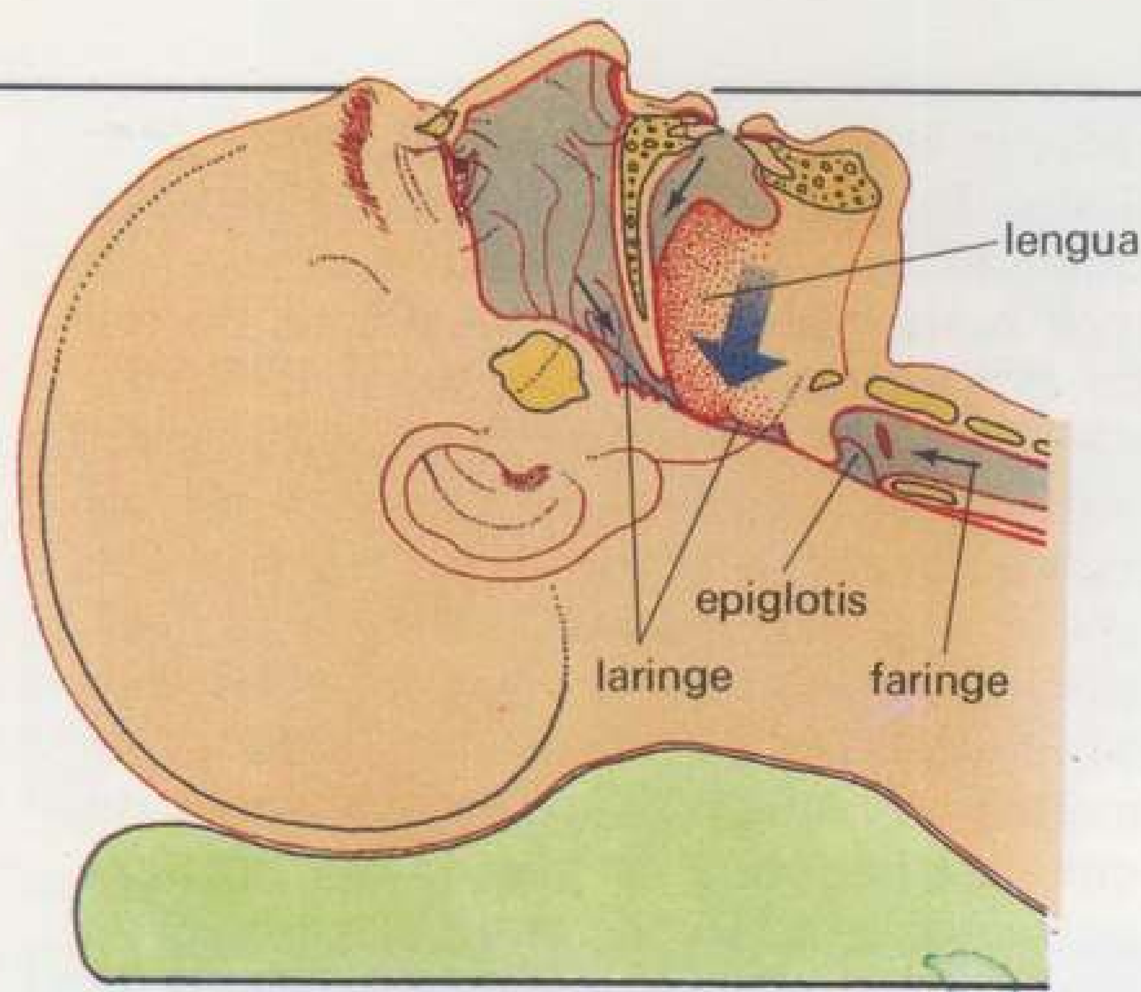
En otras ocasiones, la presión sanguínea puede descender a valores peligrosamente bajos y si, después, los vasos sanguíneos experimentan una súbita dilatación, también se produce un estado de shock. Esa dilatación puede estar provocada por una excesiva tensión nerviosa, por un sufrimiento físico intenso, por reacciones alérgicas a fármacos o por lesiones en el sistema nervioso.

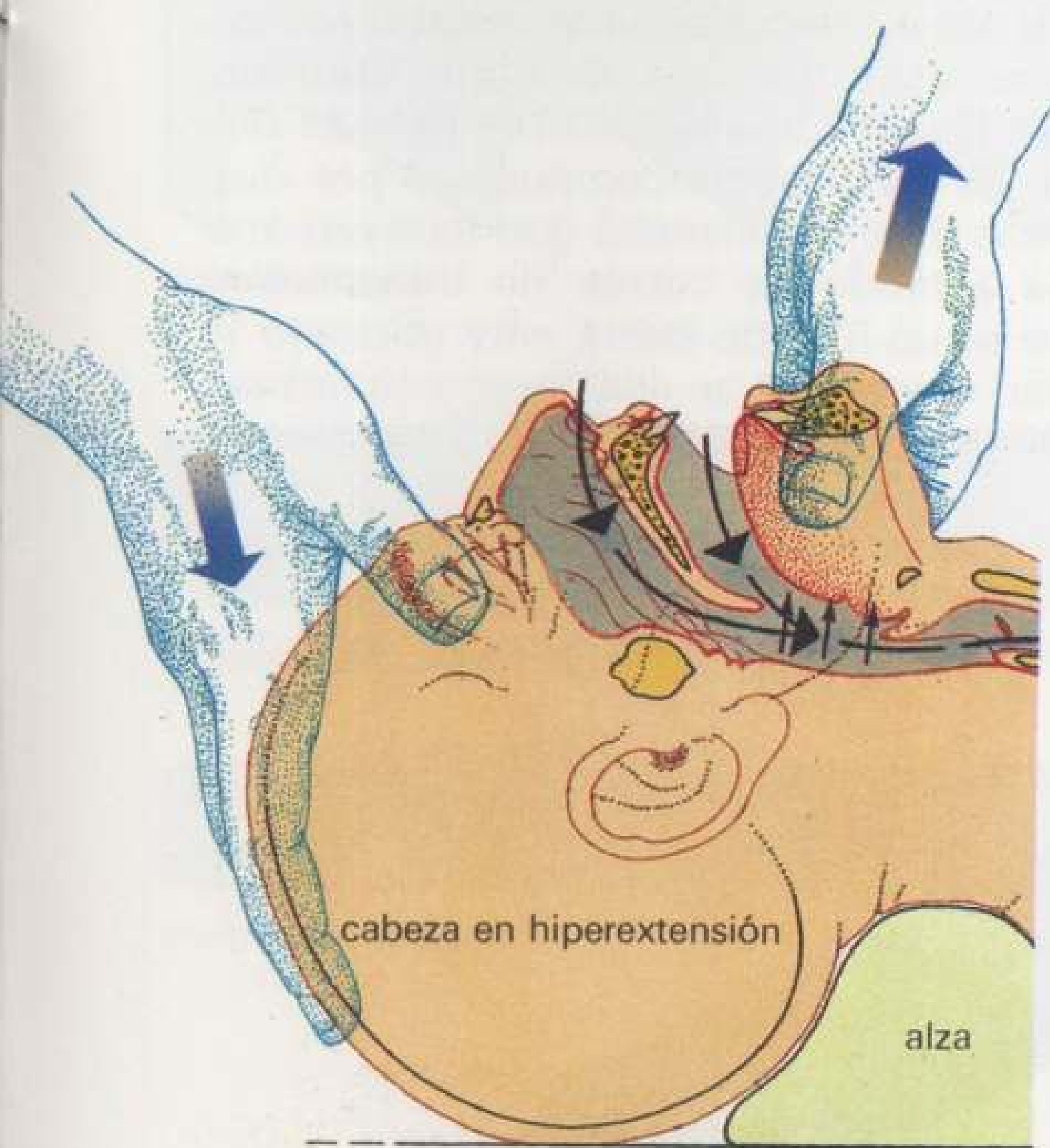
Los síntomas Cuando la sangre portadora del oxígeno no puede alcanzar las regiones periféricas del organismo, se manifiestan en éste algunos síntomas evidentes. Algunos de éstos son la respiración rápida y profunda, o una debilidad y palidez de la piel con sudoración fría. El corazón trabaja con mayor dificultad y las pulsaciones se hacen más débiles y rápidas. Se



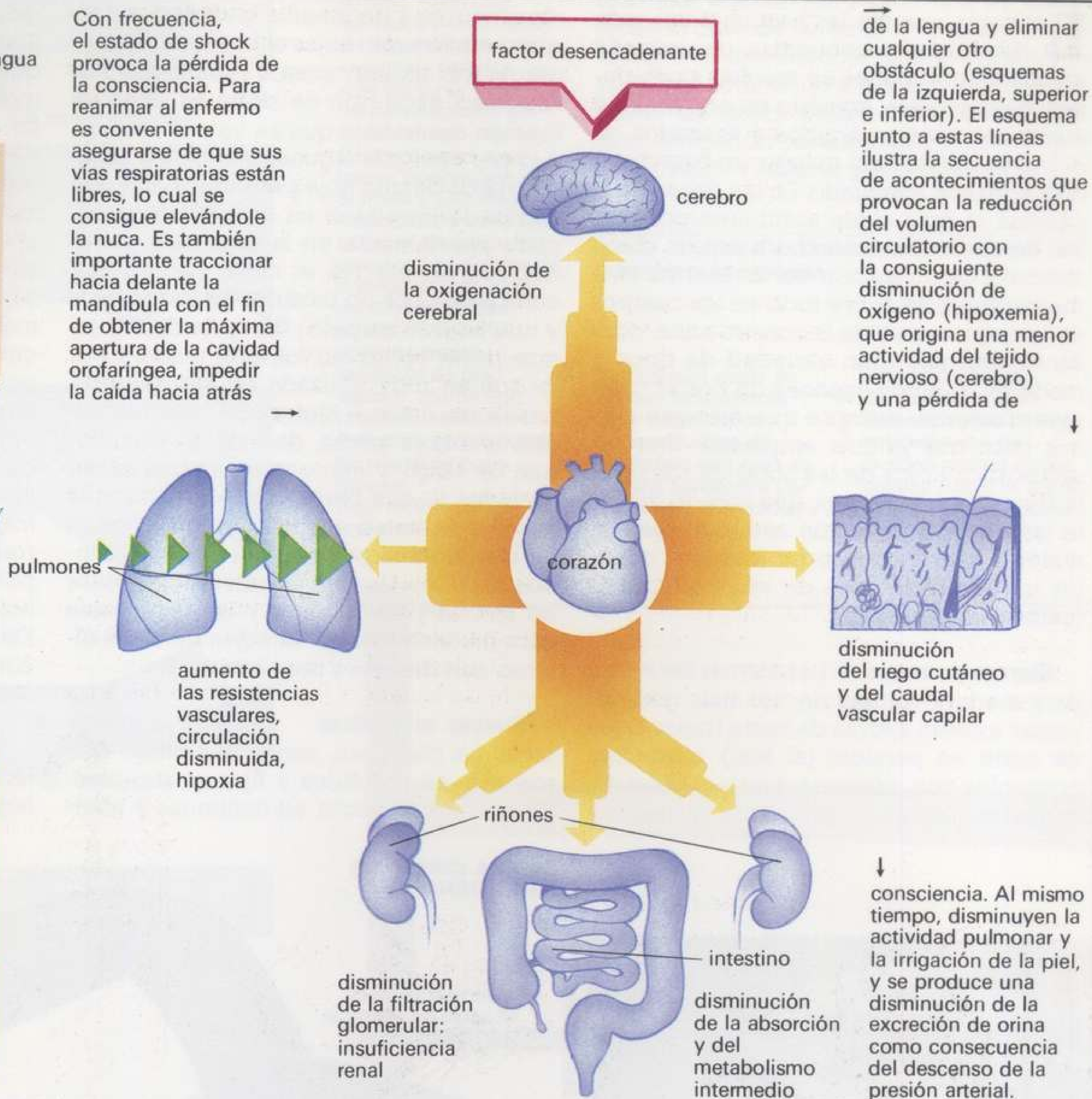


El shock puede deberse a una brusca disminución del volumen sanguíneo o a traumatismos. Arriba, algunos ejemplos de traumatismos causantes de shock. La disminución del volumen sanguíneo provoca una disminución de la presión arterial. Las consecuencias son un pulso débil y frecuente, respiración acelerada (diagramas de la derecha), piel fría y sudorosa con manchas cianóticas y color amoratado de los labios y de las uñas.





Con frecuencia, el estado de shock provoca la pérdida de la consciencia. Para reanimar al enfermo es conveniente asegurarse de que sus vías respiratorias están libres, lo cual se consigue elevándole la nuca. Es también importante traccionar hacia delante la mandíbula con el fin de obtener la máxima apertura de la cavidad orofaríngea, impedir la caída hacia atrás → de la lengua y eliminar cualquier otro obstáculo (esquemas de la izquierda, superior e inferior). El esquema junto a estas líneas ilustra la secuencia de acontecimientos que provocan la reducción del volumen circulatorio con la consiguiente disminución de oxígeno (hipoxemia), que origina una menor actividad del tejido nervioso (cerebro) y una pérdida de ↓ consciencia. Al mismo tiempo, disminuyen la actividad pulmonar y la irrigación de la piel, y se produce una disminución de la excreción de orina como consecuencia del descenso de la presión arterial.



produce también una cierta alteración mental por la falta de riego sanguíneo al cerebro, y decrece la excreción de orina.

El tratamiento Un tratamiento de urgencia en un caso de shock, si se desconocen las causas que lo han provocado, incluye una serie de normas generales, como la completa liberación de las vías respiratorias, la administración de oxígeno, la detención de las hemorragias, el control de la temperatura del enfermo, que debe mantenerse caliente, y las transfusiones de sangre o de plasma necesarias para reorganizar las condiciones normales de circulación.

En particular, debe recurrirse a tratamientos específicos dirigidos hacia la causa que ha provocado el shock, ya se trate de un ataque cardíaco, una quemadura, un corte profundo u otra causa. Hasta el momento en que sea posible iniciar ese tratamiento, el organismo puede sobrevivir gracias a su capacidad para movilizar todas sus fuerzas y concentrarlas sobre los órganos esenciales. Al sufrir un shock, el organismo se enfrenta a uno de los más grandes retos que pone a prueba su capacidad para evitar una desastrosa interrupción de la circulación sanguínea, su línea vital.

LO QUE SE DEBE HACER

- determinar la frecuencia y la uniformidad del pulso
- controlar el color de la piel y de las mucosas
- determinar la frecuencia y amplitud de las respiraciones
- eliminar las causas del shock: hemorragia y dolor
- calentar moderadamente al enfermo
- elevar los miembros inferiores

LO QUE NO SE DEBE HACER

- mover o desplazar al enfermo sin haber determinado primero las causas del shock
- suministrar alcohol
- suministrar líquidos en casos de traumatismo abdominal
- transportar al enfermo con medios no idóneos
- colocar fuentes de calor en contacto con la piel
- colocar al enfermo en posición sedente

posición correcta: se facilita el flujo de sangre al cerebro.



posición incorrecta: el flujo de sangre al cerebro resulta dificultado.



Véase **Presión arterial; Primeros auxilios**

Sierra mecánica

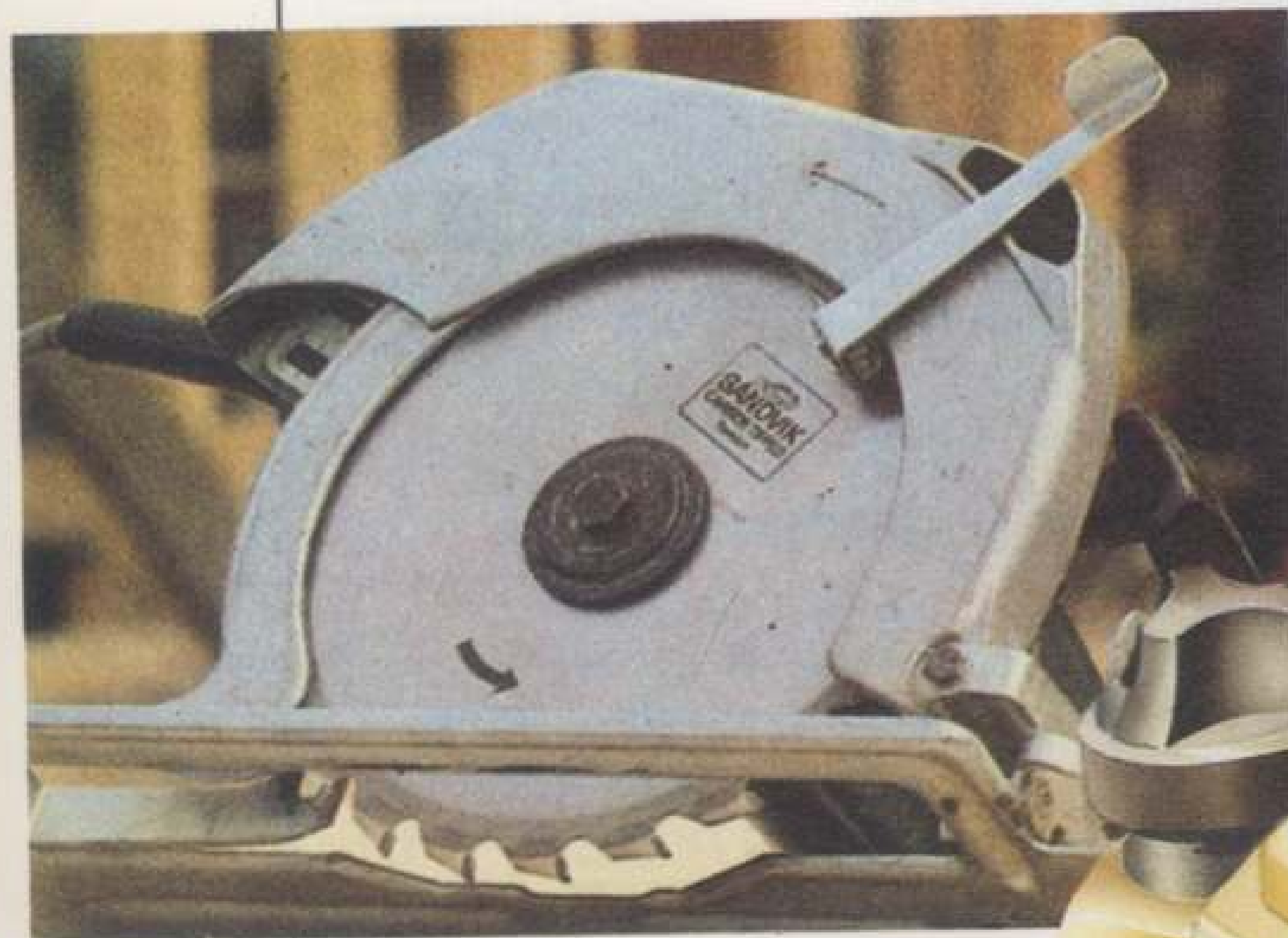
La sierra, una de las herramientas más difundidas y conocidas, desempeña un importante papel en muchas profesiones. Básicamente, consiste en una hoja de acero con dientes agudos y triscados en el borde, sujeta a un mango, un bastidor u otro armazón adecuado. En las sierras mecánicas, la hoja suele sustituirse por piezas dentadas y articuladas o por un disco dentado. La utilización de las sierras está muy extendida, sobre todo en los campos de la carpintería y de la construcción, donde existen una gran variedad de tipos y modelos, algunos capaces de cortar cualquier material, siempre que éste sea menos duro que la hoja empleada. Una característica típica de las hojas de sierra es la forma de los dientes, que son de distinto tamaño y orientación según el tipo de material que deben cortar (madera, metales u otros materiales de relativa consistencia y espesor).

Sierras de mano Las sierras de mano para madera son las de uso más generalizado: existen sierras de corte transversal, de corte en paralelo (al hilo), serruchos corrientes con diferente diente y triscado, seguetas, sierras de arco para marquetería, serruchos de costilla y sierras de inglete; empleando hojas especiales se pueden serrar incluso aceros templados. Por supuesto, cada tipo de sierra se elige en función del trabajo que se vaya a realizar. Así, por ejemplo, algunos serruchos están provistos de una hoja pequeña y fina que se puede introducir en un taladro practicado previamente en la madera, a partir del cual se efectúa el corte. La segueta, compuesta por un bastidor en forma de U y una hoja (o un pelo) fina y flexible, permite hacer cortes curvos en la madera, por lo que es muy utilizada en marquetería. Las tronzadoras o sierras de taladros tienen una hoja ancha, de más de dos metros de largo y mangos en ambas extremidades, lo que permite que sea utilizada por dos personas a la vez, ya que la forma de sus dientes posibilita el corte en ambos sentidos. Una de las diferencias entre las sierras para madera y las especiales para metales es que las hojas de estas últimas son de acero muy templado.

Sierras mecánicas Las sierras mecánicas se clasifican, según el trabajo que realizan, en portátiles y fijas, y, atendiendo a su movimiento, en continuas y alternativas. Entre estas últimas, las más importantes son: las verticales de varias hojas, que reciben su movimiento de mecanismos biela-manivela; las verticales de calar, que permiten el contorneado de líneas cerradas; y las de balancín, utilizadas para trabajos de marquetería. También son de movimiento alternativo las sierras de apear (tala de árboles) en general horizontales y portátiles, y las de tronzar, que suelen ser verticales. Las sierras de movimiento continuo pueden ser circulares, de cinta, de tambor y de platillo. Las más importantes son las primeras, cuya hoja en forma de disco, dentada por el borde, se introduce por una hendidura de la mesa de trabajo. Estas sierras se construyen de formas muy diversas: de carro libre, de mesa fija, de mesa basculante, etc. Las sierras de cinta están compuestas por dos poleas de eje horizontal que mueven una hoja a modo de correa de transmisión. Este es un tipo de sierra muy utilizado y, como el anterior, se construye con formas muy variadas.

Determinación de la sierra idónea y mantenimiento Existen diferentes clases de hojas, con dentados de forma y medidas

SIERRA CIRCULAR DE CADENA

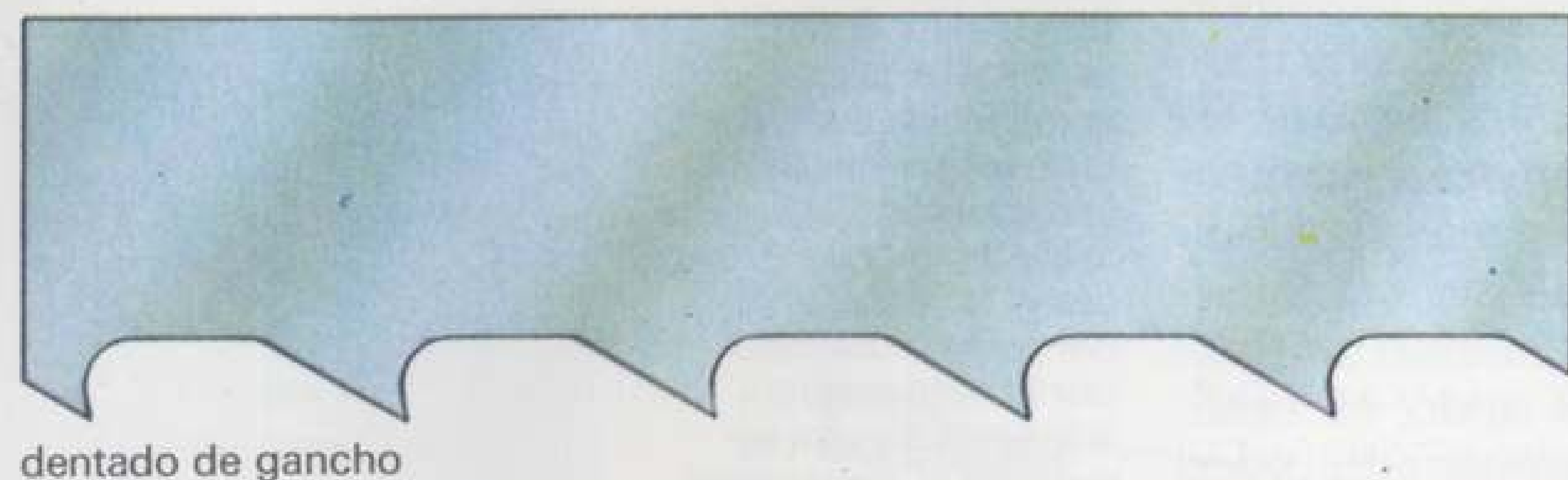


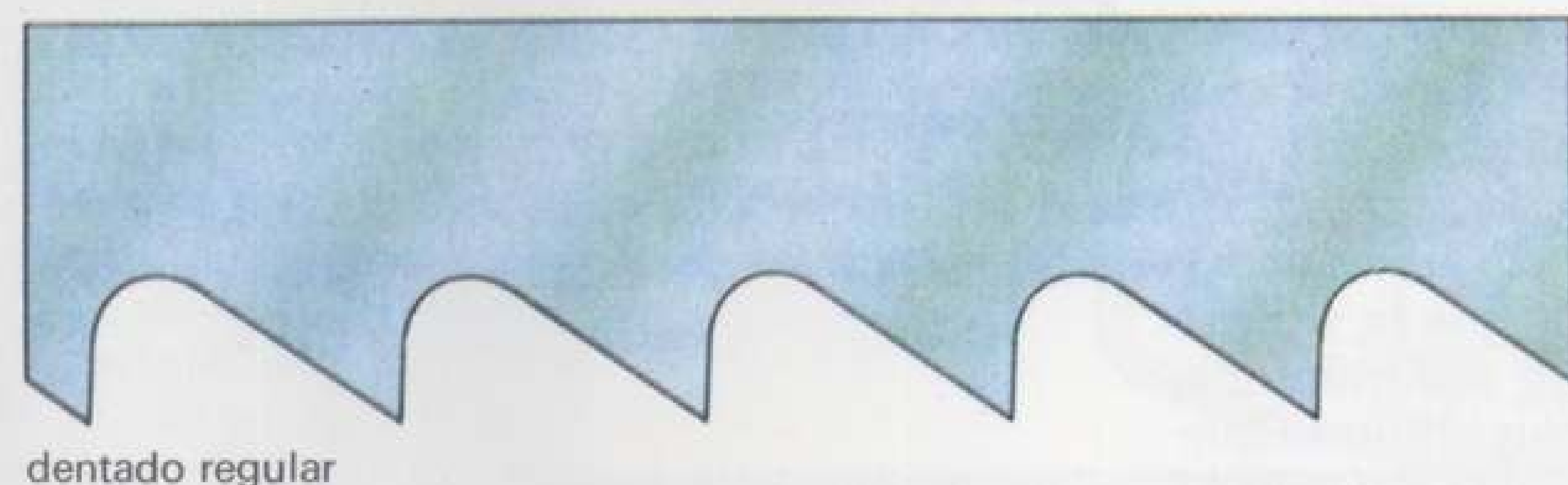
Sandvik Italia, Milán

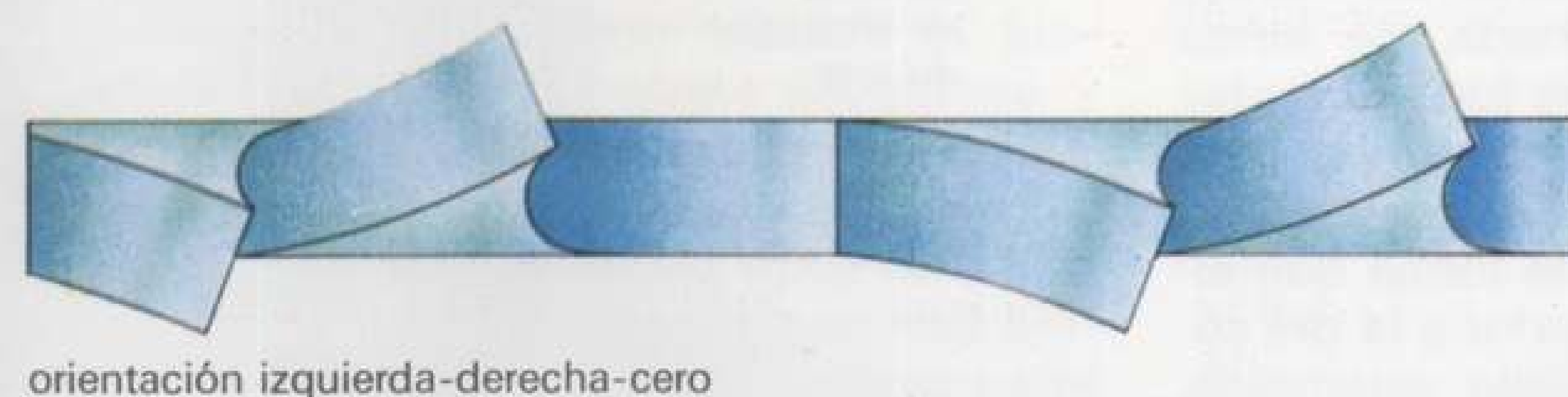
Arriba, una sierra portátil de hoja circular y dientes de metal duro. A la derecha, una típica sierra de cadena empleada para cortar troncos. Para el motor se utiliza una mezcla de gasolina y aceite lubricante.

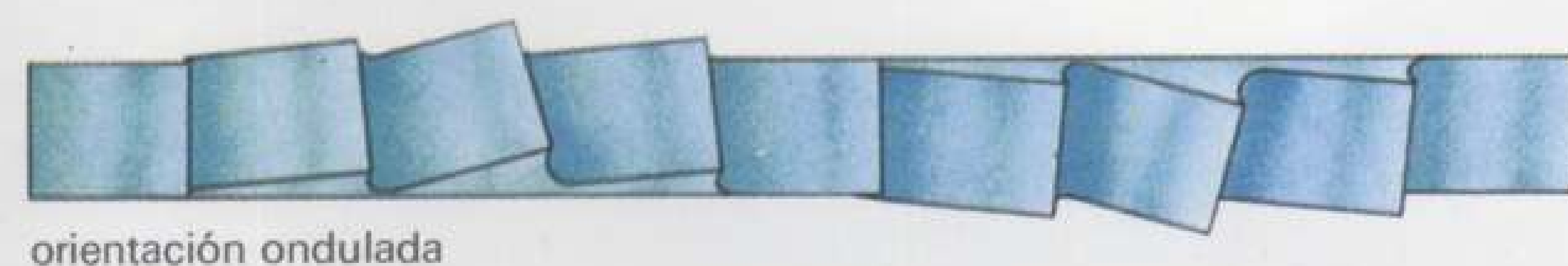
La sierra de cadena permite talar una considerable cantidad de madera en pocas horas. Los dientes de acero templado, en número mayor de cuarenta, cortan sobre ambos bordes de la →









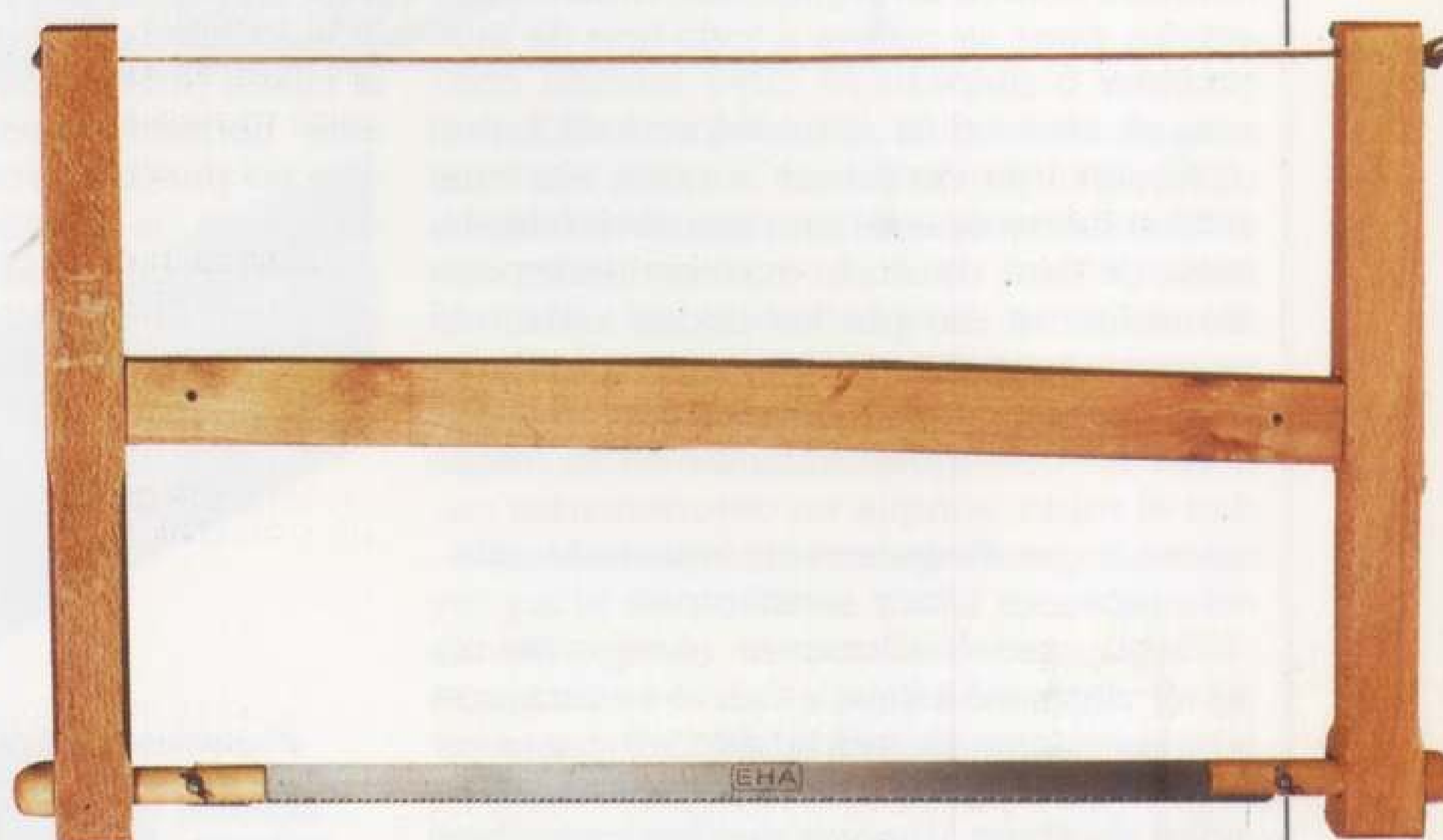


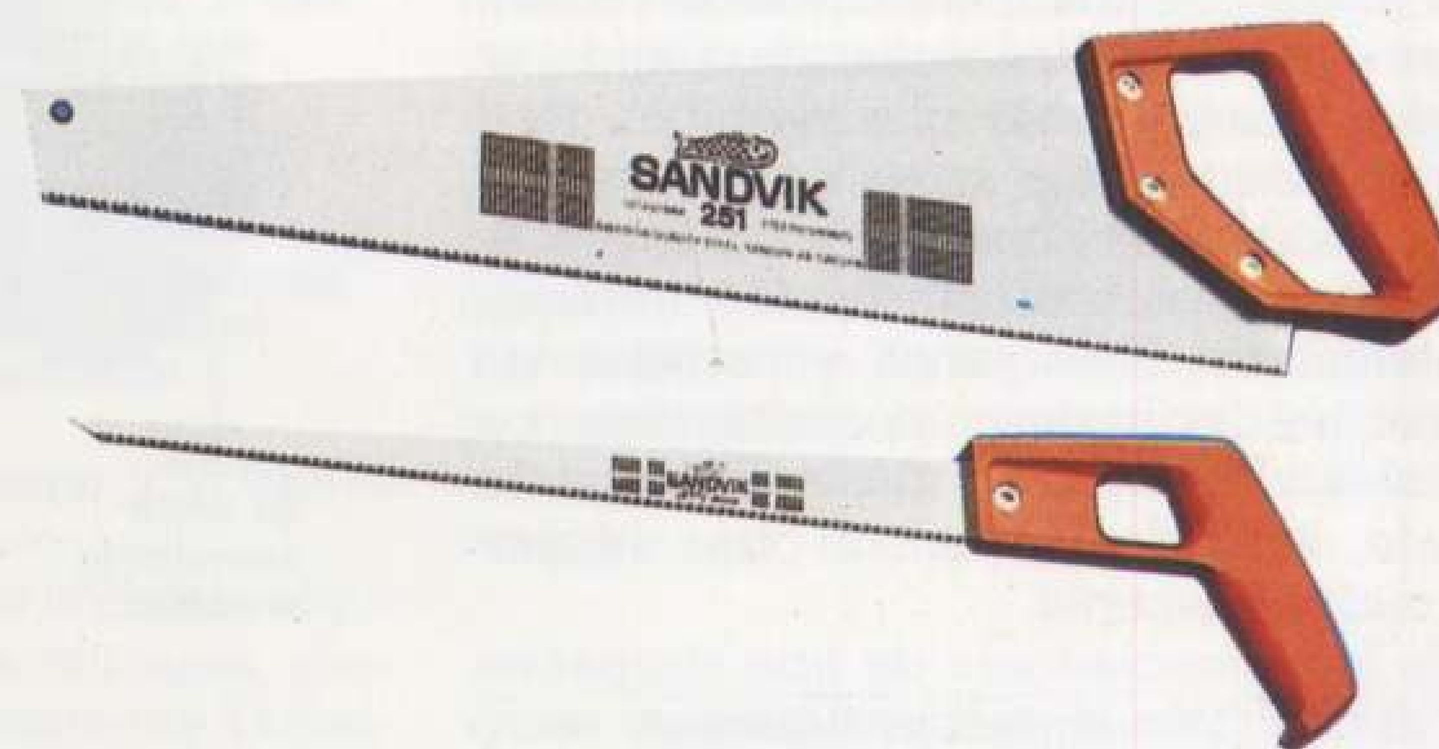
Al lado, diferentes dentados practicados en hojas de sierra de cinta para metales. La más corriente y de mayor utilización es la de dentado regular. Para conseguir una mayor penetración en el metal y una mayor velocidad de corte se utiliza el dentado de gancho. Los dientes de orientación izquierda-derecha-cero son adecuados para el corte de piezas metálicas de gran espesor; los de tipo ondulado están más indicados para el corte de piezas de poco espesor.

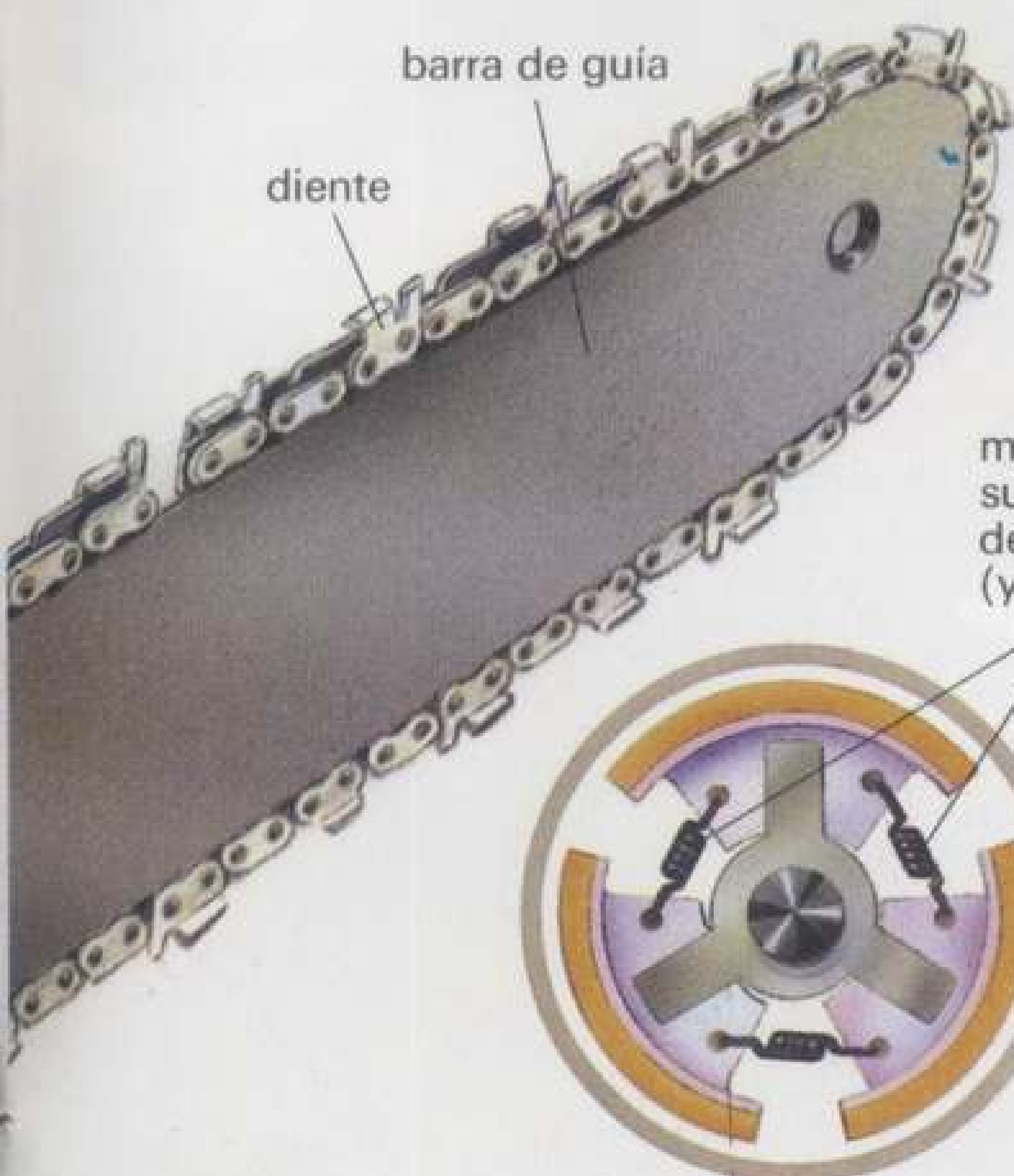
distintas, adecuados a cada tipo de trabajo. En el caso de las sierras mecánicas, por ejemplo, basta escoger la hoja exacta y fijarla correctamente a la máquina. Por otra parte, las hojas deben conservarse limpias, utilizando para ello papel abrasivo y queroseno, y afilarse periódicamente.

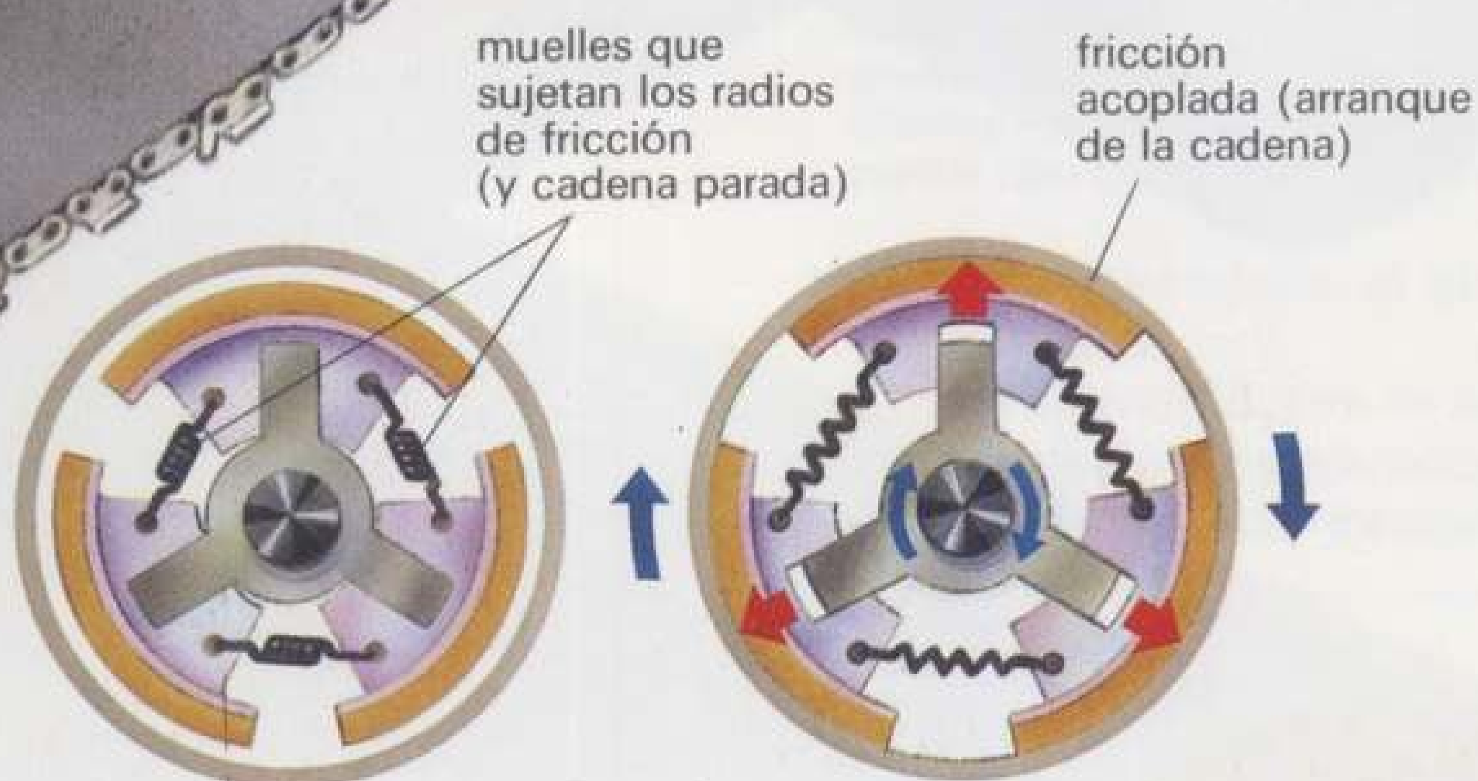
Véase **Carpintería; Ebanistería; Herramientas y máquinas-herramienta**

Bajo estas líneas, una sierra de bastidor, herramienta caída en desuso actualmente. Más abajo vemos unos serruchos de carpintero con hoja de dientes templados por inducción, orientados y afilados. Con el serrucho inferior, de características parecidas pero de hoja más estrecha, se pueden realizar cortes curvos. Abajo se puede apreciar una moderna sierra para metales.









← guía. La sierra se sujeta mediante un asa y un mango que tiene el mando de arranque incorporado. Una vez arrancado el motor, éste gira en vacío, porque, como se ve en el esquema superior, si no se conecta el embrague con el pulsador, los muelles no permiten el arrastre de la cadena. Cuando se pulsa el mando, la fuerza centrífuga empuja los radios hacia el disco periférico, que, por fricción, comienza a girar arrastrando la cadena.



Sandvik Italia, Milán

Silenciador

Es muy probable que más de una vez, durante la proyección de alguna película policíaca o de espionaje, hayamos contemplado el empleo de armas de fuego provistas de silenciador. En determinado momento de la proyección, alguno de los personajes extrae una extraña pistola, en el extremo de cuyo cañón aparece un cuerpo alargado y voluminoso. Al apretar el gatillo, no se produce el agudo y característico sonido del disparo sino que, por el contrario, se escucha un ruido seco, apagado y débil que recuerda más el impacto de una flecha que se clava en un cuerpo. El ruido del disparo ha sido sofocado, precisamente, por el silenciador.

El principio de la insonorización Aunque frecuentemente el término "silenciador" se asocia con las armas de fuego, en realidad abarca un significado mucho más amplio, pues se refiere a todo tipo de mecanismo o dispositivo cuya función consista en amortiguar el ruido producido por cualquier tipo de fuente sonora, sea ésta el tubo de escape de un automóvil o la entrada de aire de un compresor, independientemente de que las ondas acústicas se propaguen a través de un medio líquido o gaseoso. Por lo general, los silenciadores no consiguen eliminar en su totalidad el ruido, aunque en determinados casos se logra alcanzar un nivel de atenuación bastante alto y satisfactorio.

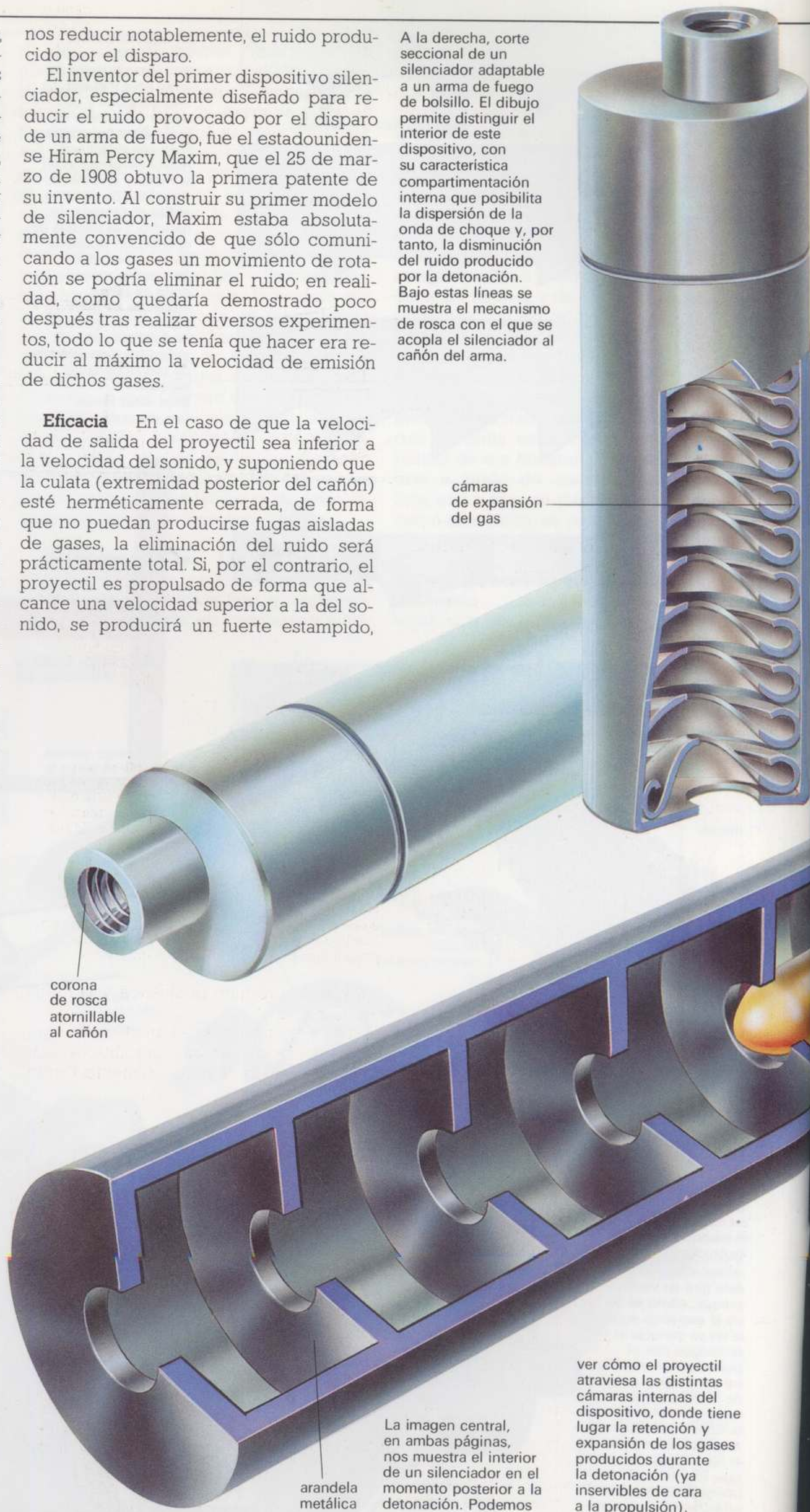
En el caso del tubo de escape de un motor de combustión, el ruido se propaga con los gases de salida, de forma que es necesario, primeramente, reducir la velocidad de éstos. Una vez que los gases han sido desacelerados, será posible actuar sobre las ondas acústicas, desviándolas. Existen dos sistemas que permiten desviar el ruido en los tubos de escape. En los *silenciadores no disipativos*, el gas es obligado a recorrer un camino tortuoso, con numerosas esquinas y recodos, de forma que las ondas sonoras chocan con los obstáculos y se reflejan hacia atrás, donde, al interferir unas con otras, se anulan recíprocamente.

En los *silenciadores de tipo disipativo*, por el contrario, los gases siguen un recorrido rectilíneo, y las ondas sonoras son absorbidas por una serie de cámaras anulares de expansión, que están dispuestas sucesivamente a lo largo del interior del tubo de escape.

Silenciadores de armas de fuego Los silenciadores utilizados para reducir el estampido producido por el disparo de un arma de fuego son, necesariamente, del tipo disipativo. Si no fuesen así, y tuviesen curvas y recodos, los proyectiles no podrían atravesarlos. Los gases producidos durante la explosión quedan atrapados en los compartimentos interiores del silenciador. Esta pérdida de velocidad experimentada por los gases emitidos origina una distribución en el tiempo del pico de presión alcanzado en el momento en que tiene lugar la detonación del explosivo, lo que es suficiente para eliminar, o al menos reducir notablemente, el ruido producido por el disparo.

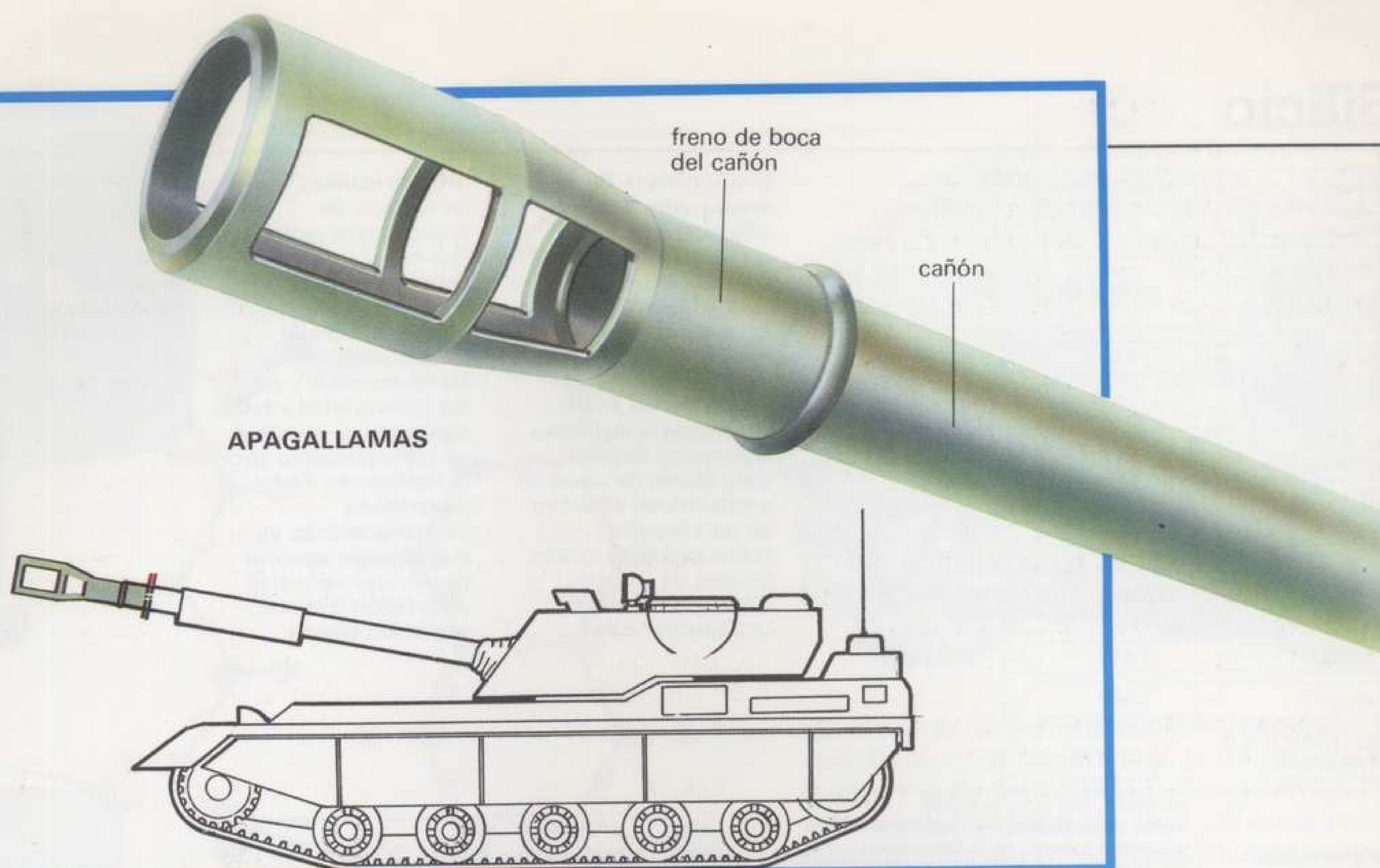
El inventor del primer dispositivo silenciador, especialmente diseñado para reducir el ruido provocado por el disparo de un arma de fuego, fue el estadounidense Hiram Percy Maxim, que el 25 de marzo de 1908 obtuvo la primera patente de su invento. Al construir su primer modelo de silenciador, Maxim estaba absolutamente convencido de que sólo comunicando a los gases un movimiento de rotación se podría eliminar el ruido; en realidad, como quedaría demostrado poco después tras realizar diversos experimentos, todo lo que se tenía que hacer era reducir al máximo la velocidad de emisión de dichos gases.

Eficacia En el caso de que la velocidad de salida del proyectil sea inferior a la velocidad del sonido, y suponiendo que la culata (extremidad posterior del cañón) esté herméticamente cerrada, de forma que no puedan producirse fugas aisladas de gases, la eliminación del ruido será prácticamente total. Si, por el contrario, el proyectil es propulsado de forma que alcance una velocidad superior a la del sonido, se producirá un fuerte estampido,



A la derecha, corte seccional de un silenciador adaptable a un arma de fuego de bolsillo. El dibujo permite distinguir el interior de este dispositivo, con su característica compartimentación interna que posibilita la dispersión de la onda de choque y, por tanto, la disminución del ruido producido por la detonación. Bajo estas líneas se muestra el mecanismo de rosca con el que se acopla el silenciador al cañón del arma.

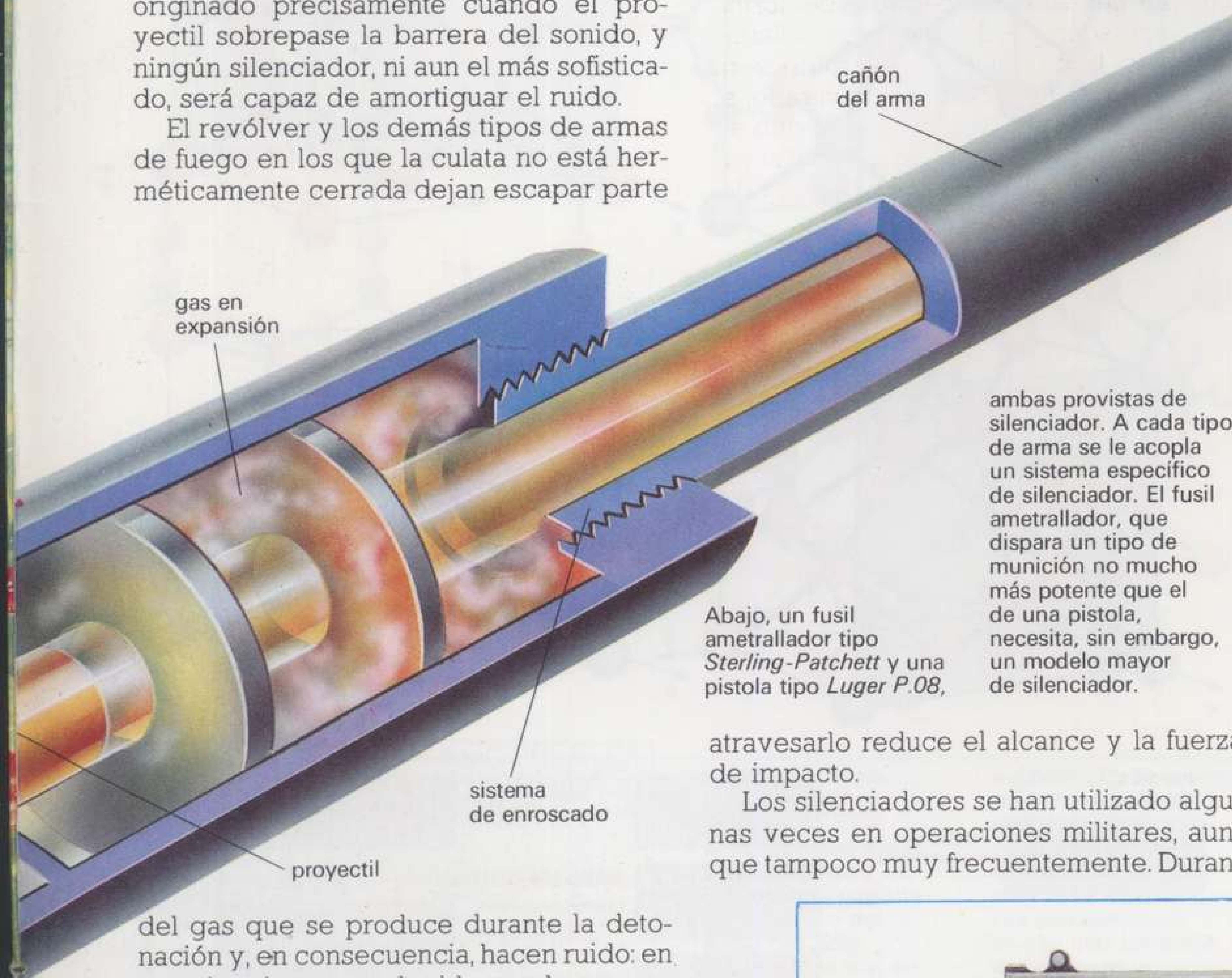
La imagen central, en ambas páginas, nos muestra el interior de un silenciador en el momento posterior a la detonación. Podemos ver cómo el proyectil atraviesa las distintas cámaras internas del dispositivo, donde tiene lugar la retención y expansión de los gases producidos durante la detonación (ya inservibles de cara a la propulsión).



Un dispositivo similar al que se monta para silenciar el sonido en las armas portátiles permite, en el caso de los carros de combate, ocultar la llamarada que se produce en el momento del disparo. El "silenciador" se acopla a la boca del cañón y permite atenuar ligeramente el ruido de la detonación. Su objetivo principal es, sin embargo, el de ocultar al enemigo la llamarada que se produce en el disparo. Este dispositivo presenta unas aberturas laterales que facilitan la dilatación o expansión del gas, de forma que éste se enfría violentamente y no produce ninguna llamarada.

originado precisamente cuando el proyectil sobrepase la barrera del sonido, y ningún silenciador, ni aun el más sofisticado, será capaz de amortiguar el ruido.

El revólver y los demás tipos de armas de fuego en los que la culata no está herméticamente cerrada dejan escapar parte del gas que se produce durante la detonación y, en consecuencia, hacen ruido: en este tipo de armas, el ruido puede ser parcialmente atenuado, aunque nunca puede eliminarse sustancialmente.



Los silenciadores, sin embargo, no han llegado a tener nunca una buena aceptación por varias razones. Ante todo, sólo resultan eficaces para un número limitado de armas ligeras, por lo que sus posibilidades de empleo quedan ya, de por sí, muy reducidas. Por otra parte, el peso del silenciador, acoplado en el extremo del cañón, desestabiliza notablemente el arma, haciendo más incómoda su empuñadura, lo que en términos prácticos se traduce en una pérdida de precisión que, en muchos casos, no compensa la reducción del ruido. Además, la disminución de velocidad que experimenta el proyectil al atravesarlo reduce el alcance y la fuerza de impacto.

Abajo, un fusil ametrallador tipo *Sterling-Patchett* y una pistola tipo *Luger P.08*, ambas provistas de silenciador. A cada tipo de arma se le acopla un sistema específico de silenciador. El fusil ametrallador, que dispara un tipo de munición no mucho más potente que el de una pistola, necesita, sin embargo, un modelo mayor de silenciador.

Los silenciadores se han utilizado algunas veces en operaciones militares, aunque tampoco muy frecuentemente. Durante la I Guerra Mundial, el modelo *Sniper*, montado sobre el fusil *Springfield* de 1903, adoptaba un sistema de silenciador Maxim, mientras que durante la II Guerra Mundial, los silenciadores se utilizaron muy pocas veces, sólo aplicados a armas ligeras y, por lo general, en operaciones especiales de comando.

Un elemento cinematográfico La mayor parte de nosotros habrá tenido conocimiento de la existencia de los silenciadores a través del cine, y no a partir de la vida real. En efecto, los silenciadores son artilugios que, además de conferir un aspecto especialmente amenazador y sofisticado a las armas, son, sin duda, muy eficaces para cometer acciones ilegales y actos criminales. De hecho, en la mayor parte de los países se han adoptado leyes muy estrictas en cuanto a la adquisición o posesión y uso de estos dispositivos.

Actualmente, su uso está prácticamente restringido a la comprobación de armas, que se suele realizar en locales cerrados.

Véase **Ametralladora; Fusil; Pistola**



Fusil ametrallador británico *Sterling-Patchett* con silenciador incorporado: los gases producidos en la detonación son dispersados a través de un sistema de pequeños orificios practicados en el cuerpo del silenciador (por esta razón, el proyectil pierde velocidad, aunque también, de esta manera, se posibilita el uso de munición supersónica)

Pistola alemana *Luger P.08* con silenciador

Silicio

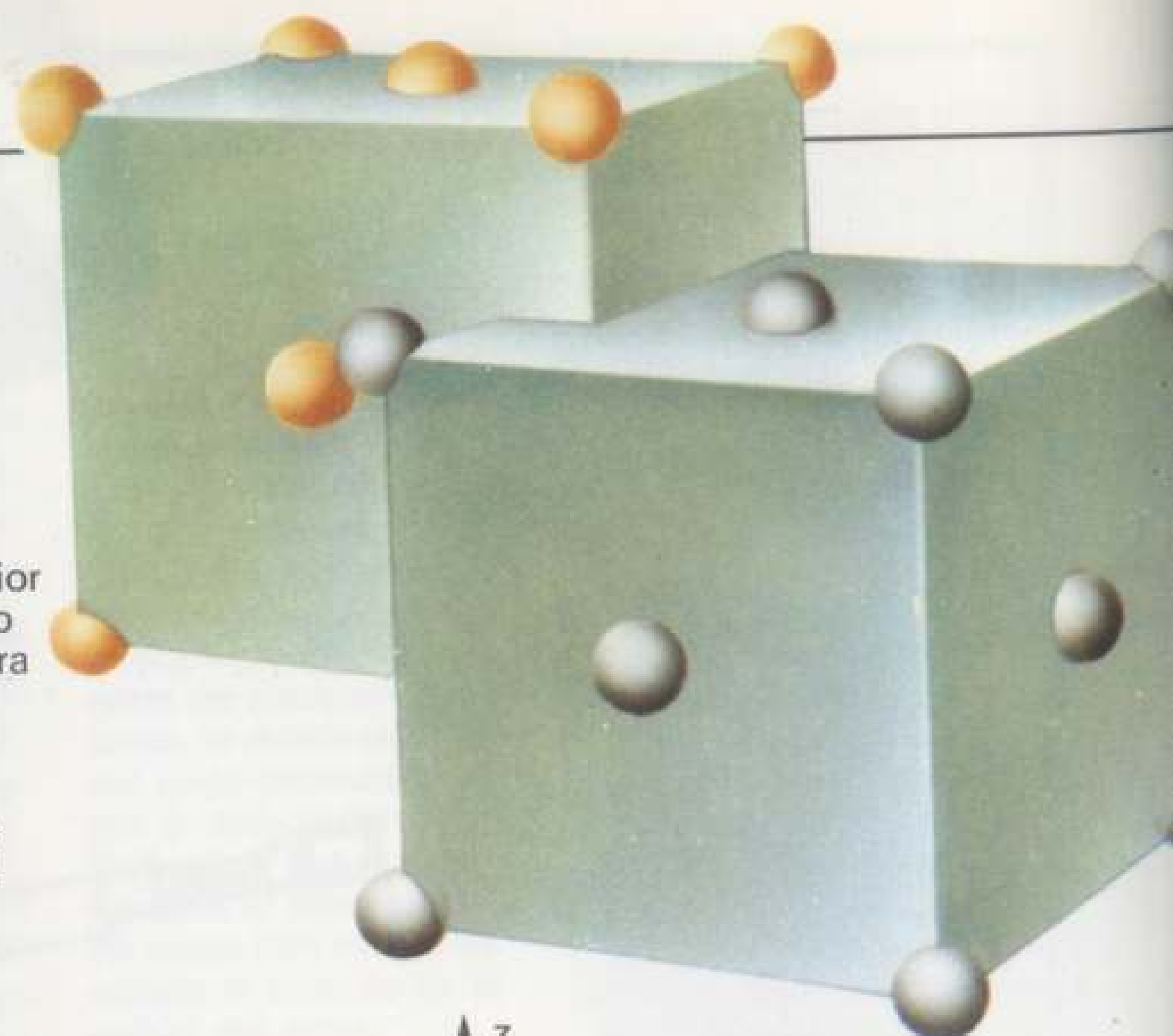
NOMBRE	SILICIO
SIMBOLO	Si
ETIMOLOGIA DEL NOMBRE Y DEL SIMBOLO	de latín *silex*, "sílice"
N. ATOMICO	14
PESO ATOMICO	28,086
ESTADO NATURAL	en la sílice y en los silicatos
DESCUBRIMIENTO O AISLAMIENTO	J. J. Berzelius (1823)
PRODUCCION	reducción del fluosilicato de potasio o reducción con magnesio de la sílice
P. f. (°C)	1.420
P. eb. (°C)	2.355
PESO ESPECIFICO O DENSIDAD	2,32
PROPIEDADES Y APLICACIONES	en forma muy pura se utiliza como semiconductor en transistores y baterías solares; en la fabricación de siliconas y como desoxidante de los aceros; la sílice, su compuesto más importante, se utiliza en la industria cerámica y del vidrio.

Cerca de las tres cuartas partes de la corteza terrestre están formadas por dos elementos químicos. El primero es el oxígeno, que constituye cerca del 50% de la masa de la corteza. El segundo, conocido con el nombre de silicio, es una sustancia dura y frágil, cuyo contenido en la corteza terrestre está en una proporción del 25,7% (siempre en términos de masa). El silicio, que fue descubierto y aislado por primera vez en 1823 por el físico sueco Jons Jacob Berzelius, pertenece a un grupo de elementos químicamente similares al carbono que comprende, además de éste, el germanio, el plomo y el estaño.

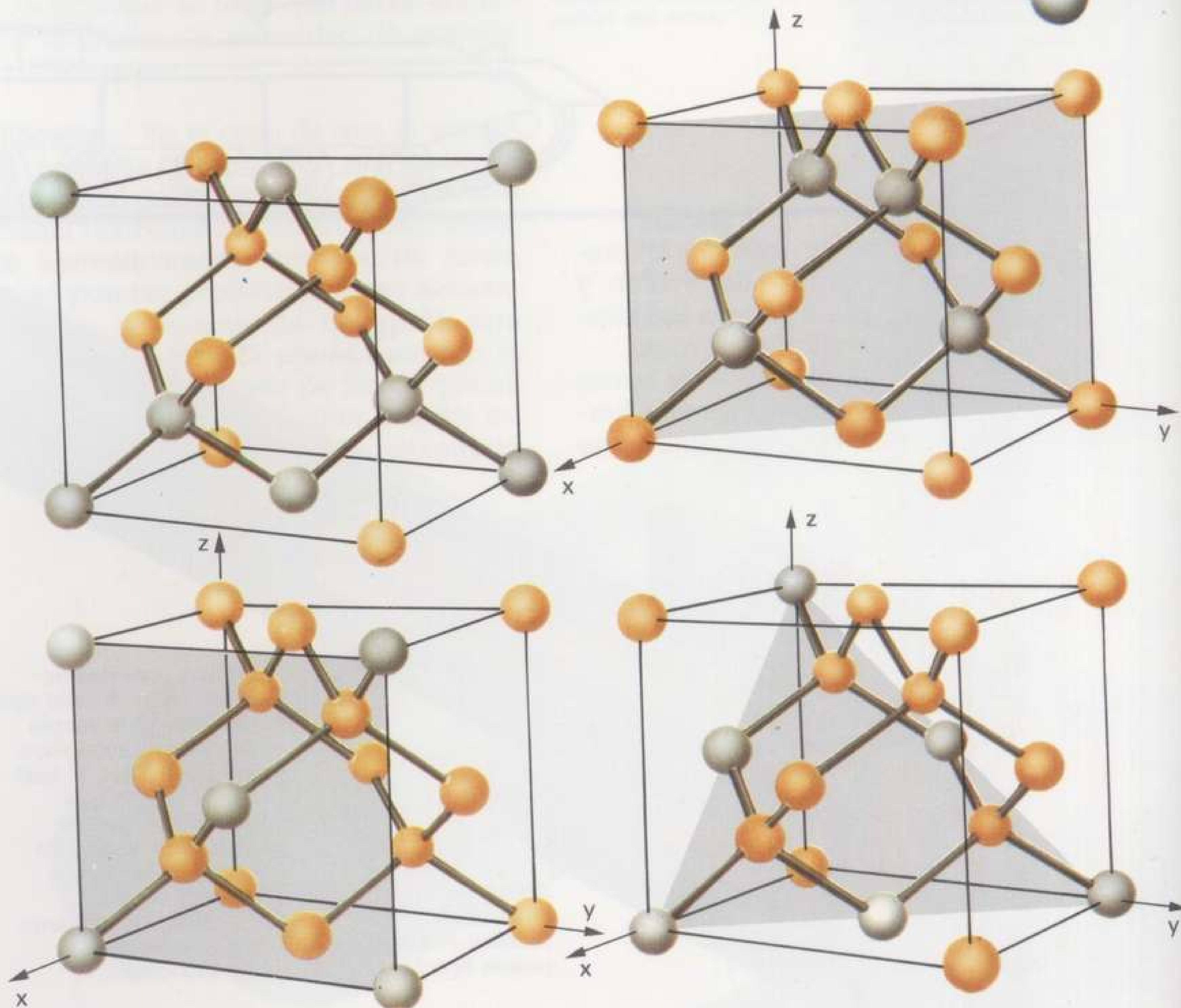
La mayor parte del silicio existente en la Naturaleza se presenta en forma de un óxido llamado sílice (SiO_2), que es el constituyente principal del cuarzo, la tierra y la arcilla, además de formar parte de toda la arena marina. Otros compuestos del silicio se encuentran en la atmósfera, en los vegetales, en los fluidos y en los tejidos de los organismos animales. Si bien no se encuentra nunca en estado puro, el silicio puede ser aislado de sus compuestos y utilizado en muchas tecnologías.

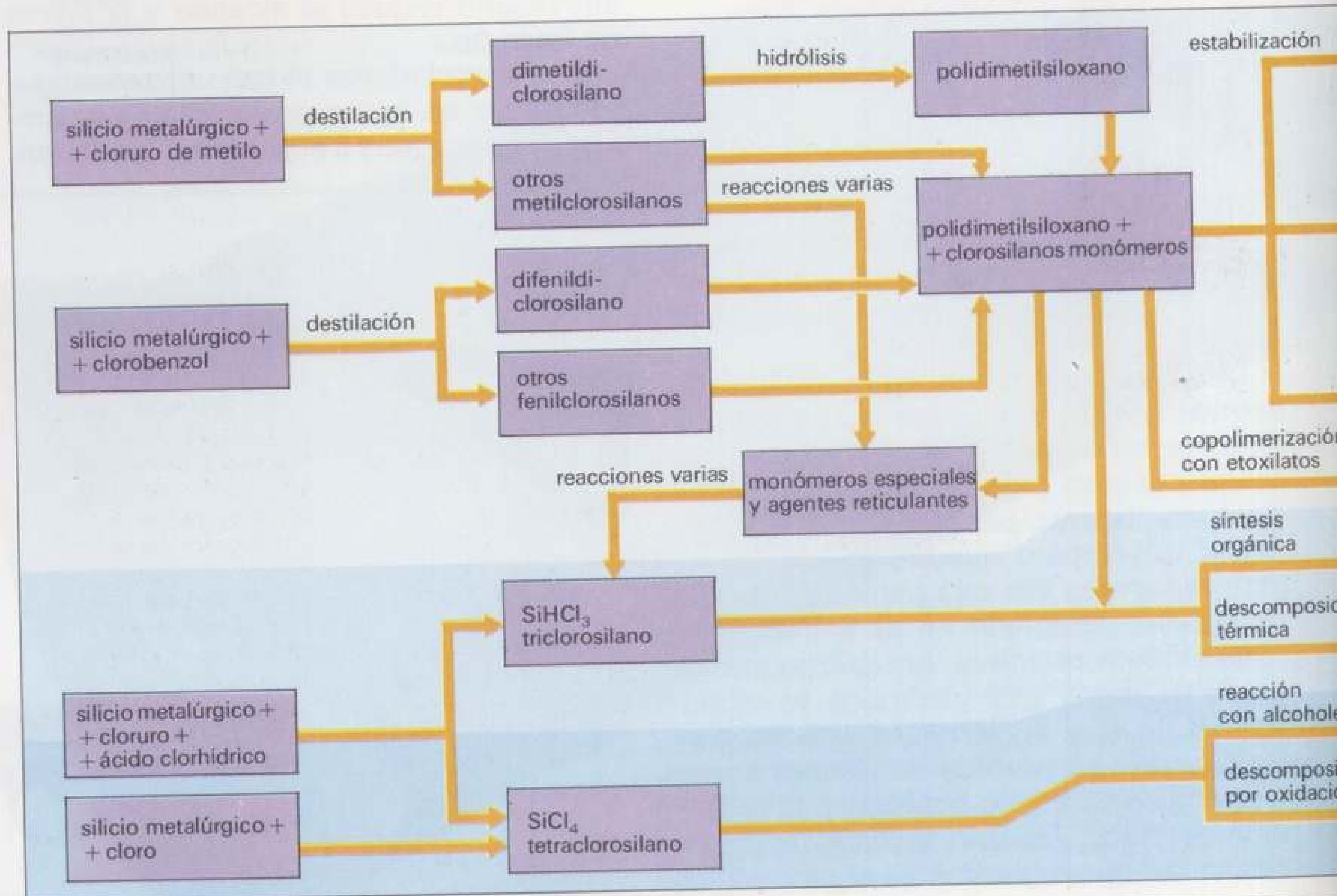
Propiedades del silicio El silicio es un metaloide, lo que significa que posee características similares a las de los metales y otras que son comunes a los no metales. Es de color gris, casi negro, y muy duro, con una estructura cristalina análoga a la del carbono cuando se presenta bajo la forma de diamante. A temperatura ambiente es estable e inerte. Con el aumento de temperatura aumenta también su reactividad y se combina con los halógenos, como el flúor y el cloro, dando tetrafluoruro de silicio (SiF_4) y tetracloruro de silicio ($SiCl_4$), este último utilizado con fines militares para producir cortinas de humo. Se combina también con algunos metales, como por ejemplo el magnesio, dando lugar al siliciuro de magnesio.

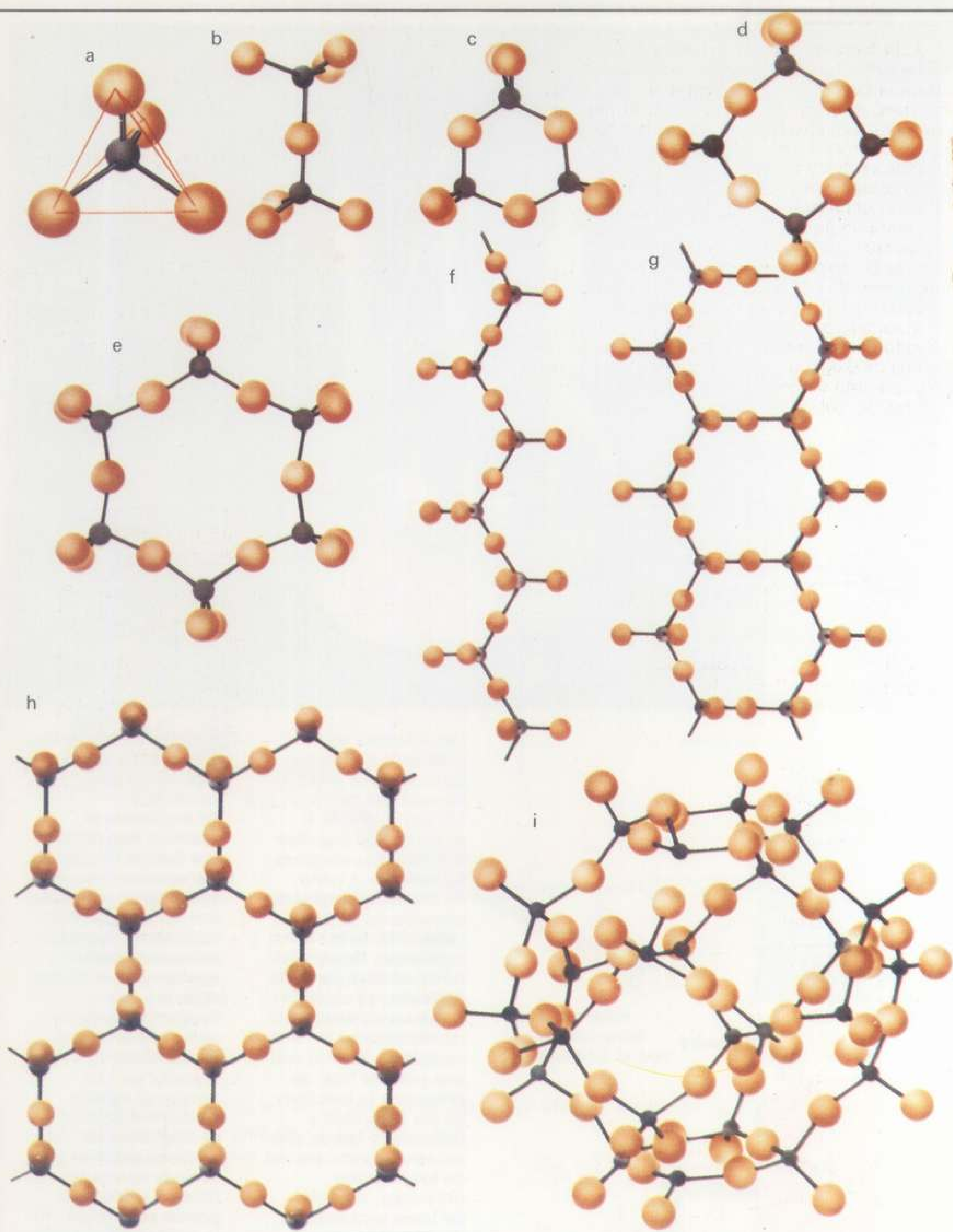
Una de las propiedades más importantes del silicio es la de ser un semiconduc-

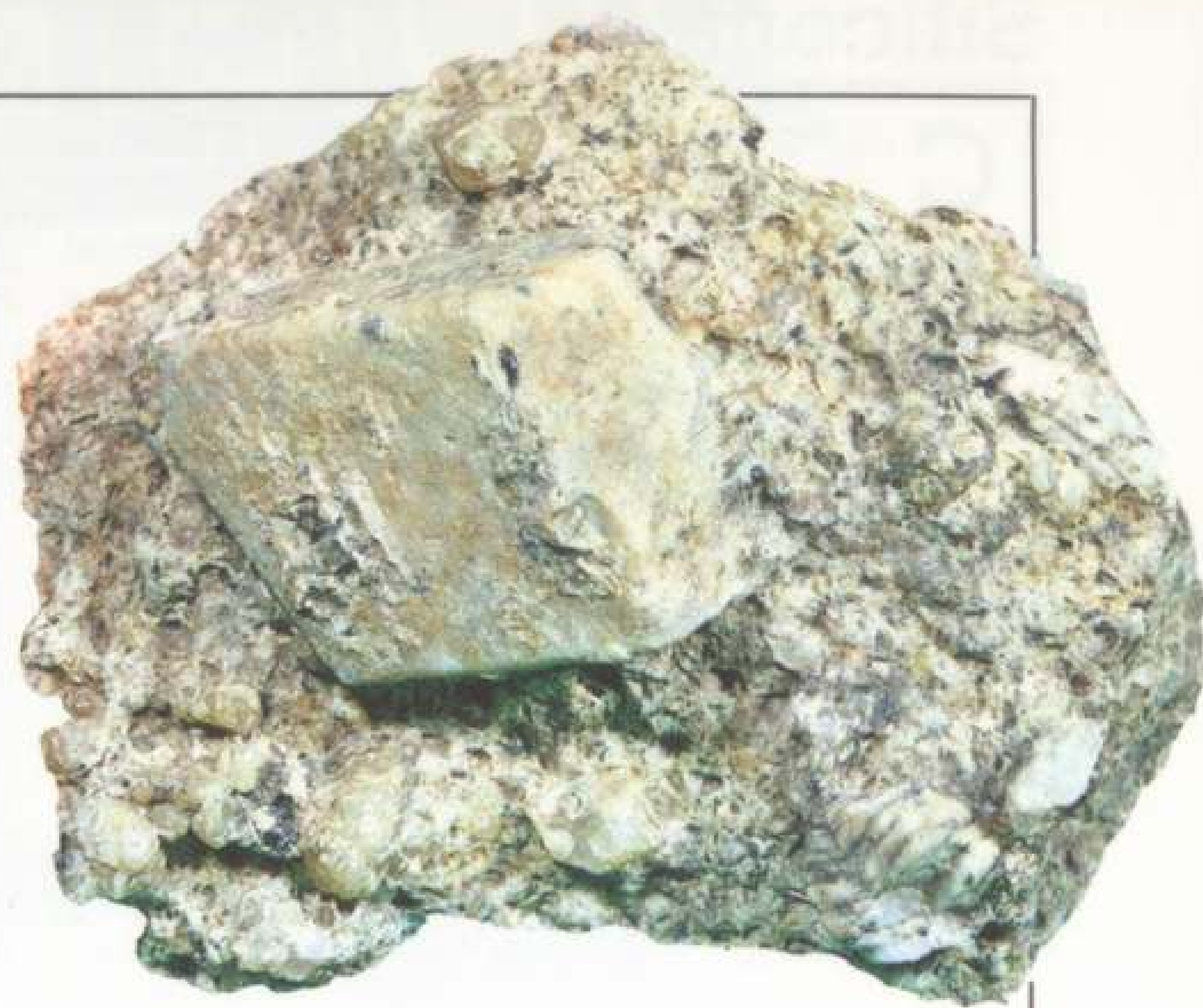


El silicio tiene la misma estructura cristalina que el diamante, es decir, una estructura cúbica centrada en las caras. En cada vértice y en el centro de cada cara del cubo unitario se encuentra un átomo; la estructura de dichas uniones es tetraédrica: cada átomo de silicio se encuentra en el centro de un tetraedro definido por los cuatro átomos de oxígeno a los que está unido. Los ejes del cubo unitario forman un sistema de coordenadas rectas que hacen posible definir la dirección y el plano en el interior del cristal. El conocimiento de las direcciones y de los planos en el interior de un cristal de silicio es importantísimo para la fabricación de los dispositivos micromecánicos, ya que algunos agentes tienen una velocidad de incisión distinta, según los planos.







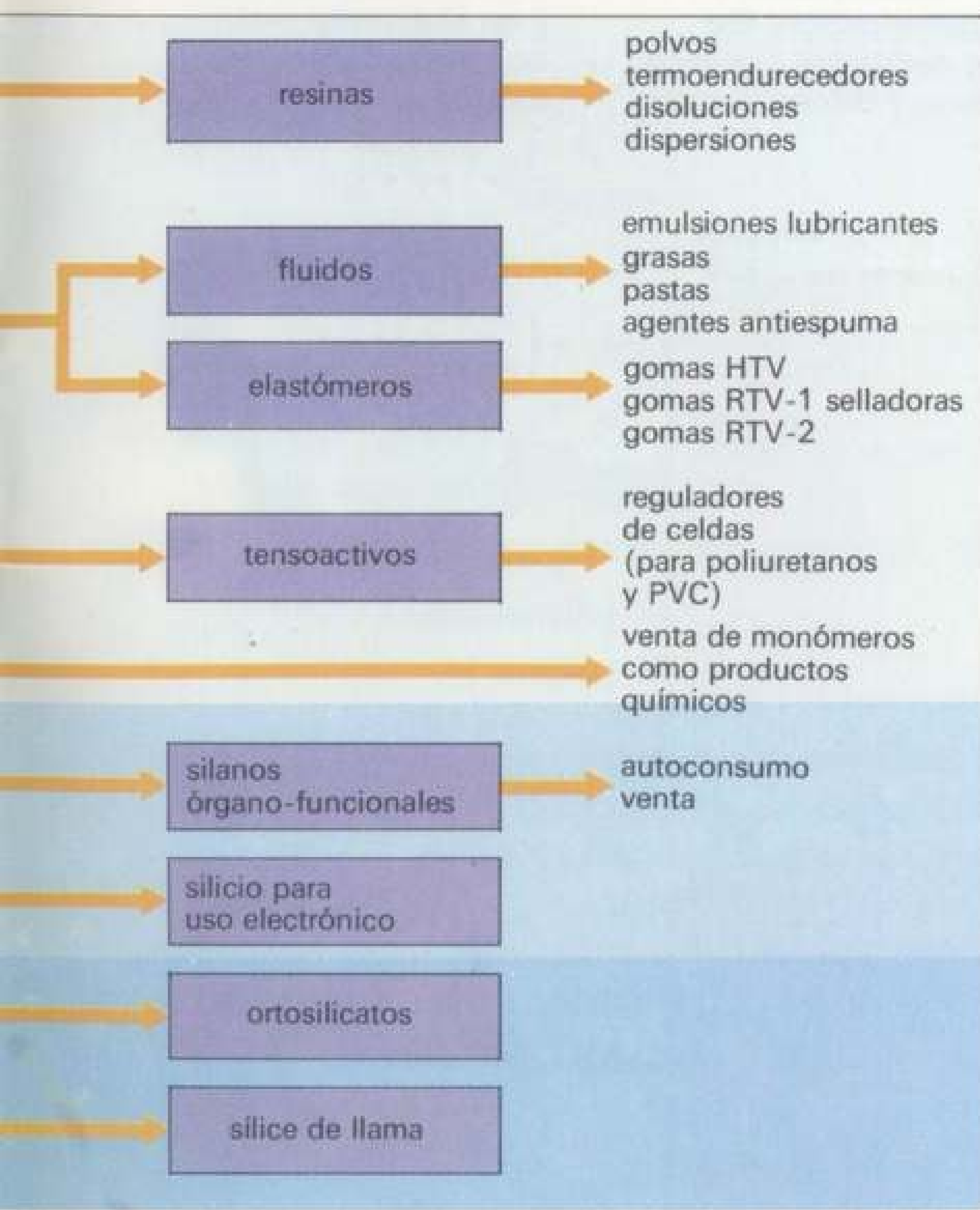


tor, es decir, una sustancia cuya conductividad eléctrica oscila entre la de un conductor y la de un aislante, variando en función de la temperatura. Este carácter semiconductor del silicio ha permitido a los técnicos utilizarlo en la fabricación de distintos componentes electrónicos, como diodos, circuitos integrados, pilas fotovoltaicas, etcétera.

Aplicaciones Desde hace mucho tiempo, el silicio puro se viene utilizando en la industria metalúrgica para la producción de aleaciones metálicas, en las que este elemento actúa como agente reforzante, mezclado a elevada temperatura con el aluminio, el cobre y el hierro. Como ya se ha dicho, también la industria de los semiconductores, fundamental en la moderna tecnología electrónica, hace un amplio uso de las características semiconductoras del silicio en la fabricación de diversos componentes de los circuitos eléctricos. En los últimos años, algunos países han utilizado el silicio para fabricar células fotovoltaicas, que transforman directamente la energía solar en energía eléctrica. Por otra parte, tanto el silicio como el germanio, a los que se añaden "impurezas" controladas de elementos de los grupos III ó V del Sistema periódico, se utilizan en forma de finísimas pastillas (*chips*) en las que se integran un gran número de componentes electrónicos. Hace un par de décadas, estos componentes, realizando las mismas funciones, ocupaban en cambio un volumen miles de veces superior. En la actualidad, los *chips* permiten la fabricación, entre otras cosas, de diminutas y complejas calculadoras.

Pero, además de las recientes innovaciones, se sigue manteniendo una antigua aplicación industrial del silicio: se trata de su utilización en la fabricación del vidrio y la cerámica. En este proceso, los silicatos, en forma de arena y fragmentos de cuarzo, se calientan a temperatura muy elevada y se combinan con óxidos básicos y otros compuestos. Otra de sus aplicaciones es la producción de compuestos de silicio más complejos, conocidos con el nombre de siliconas.

Véase **Elementos químicos; Halógenos; Semiconductor; Silicona; Tabla periódica de elementos**



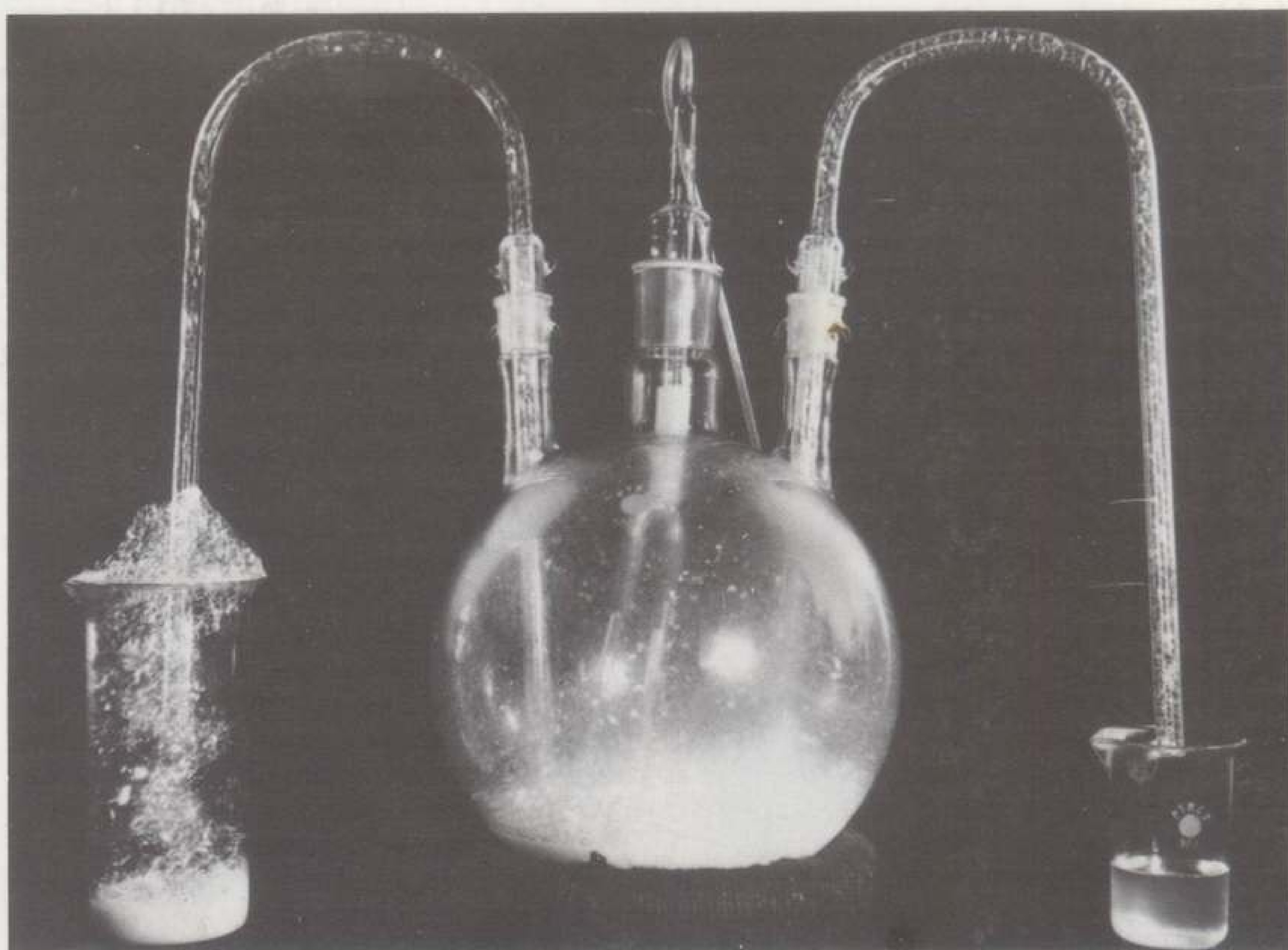
Sobre estas líneas, clasificación de los silicatos. En *a*, se ha representado el tetraedro simple. Las dimensiones relativas del oxígeno y del silicio han sido falseadas, ya que, en realidad, el oxígeno tiene un diámetro cuatro veces mayor que el del silicio. Los tetraedros pueden unirse por parejas mediante un vértice (*b*): esta estructura se encuentra en la calamina; *c*, *d* y *e* son reagrupamientos de los tetraedros en los ciclosilicatos, un ejemplo de los cuales es el berilio; *f* representa una cadena simple de tetraedros que se da, por ejemplo, en los piroxenos; *g* es una cadena doble de tetraedros, característica de los anfiboles; *h* representa un estrato plano de tetraedros, característico de la mica y de los materiales arcillosos; *i* es una estructura mucho más compleja; de hecho, es un reagrupamiento tridimensional de tetraedros que se encuentra sobre todo en los feldespatos (ortoclasa). A la izquierda, procesos industriales del silicio metalúrgico para la producción de silanos órgano-funcionales. Tal producción forma parte de programas para la obtención de siliconas (resinas, fluidos y elastómeros), tensoactivos silicónicos, silicio hiperpuro para uso electrónico, ortosilicatos y silicio de llama.

Silicona

Cuando en el año 1823 el físico sueco J. J. Berzelius descubrió el silicio, sentó las bases para la posterior invención de algunas de las sustancias sintéticas más útiles que hoy se conocen. A medida que los estudios revelaban gradualmente las propiedades del silicio puro y de sus compuestos, los científicos comenzaron a investigar con creciente interés algunas aplicaciones de este nuevo elemento, ampliamente difundido en la Naturaleza.

Por fin, en el siglo XX, sobre todo en los años cincuenta y sesenta, una de las ramas del desarrollo comercial del silicio adquirió una importancia significativa con la aparición de una amplia gama de nuevos productos derivados de aquél, a los que se conoce con el nombre de siliconas.

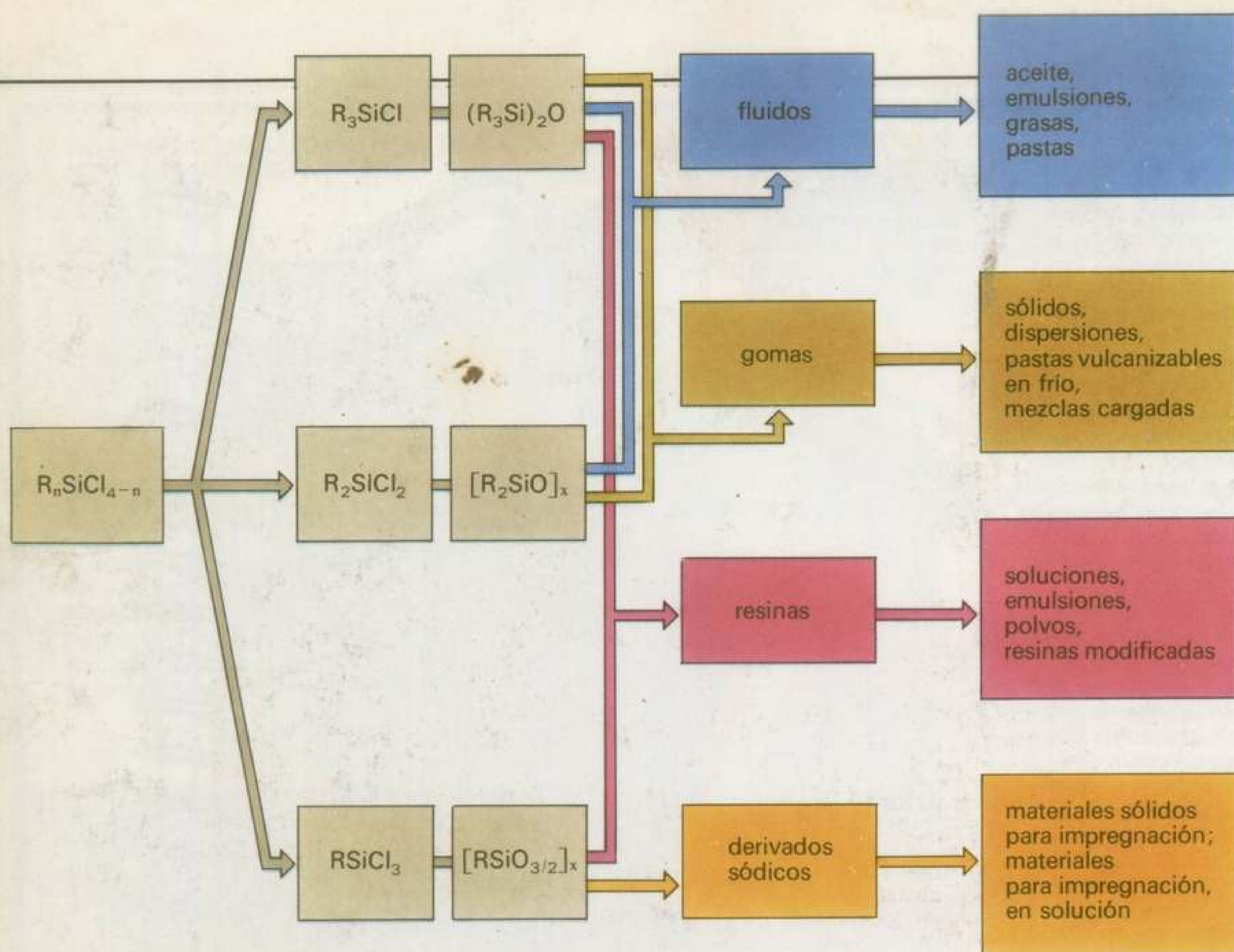
Polímeros Las siliconas, según el vocabulario de los químicos, son polímeros, un término que deriva del griego y que significa "muchas partes". Los polímeros son compuestos complejos formados por moléculas muy grandes que reciben el nombre de macromoléculas. Algunos ejemplos de polímeros naturales son la

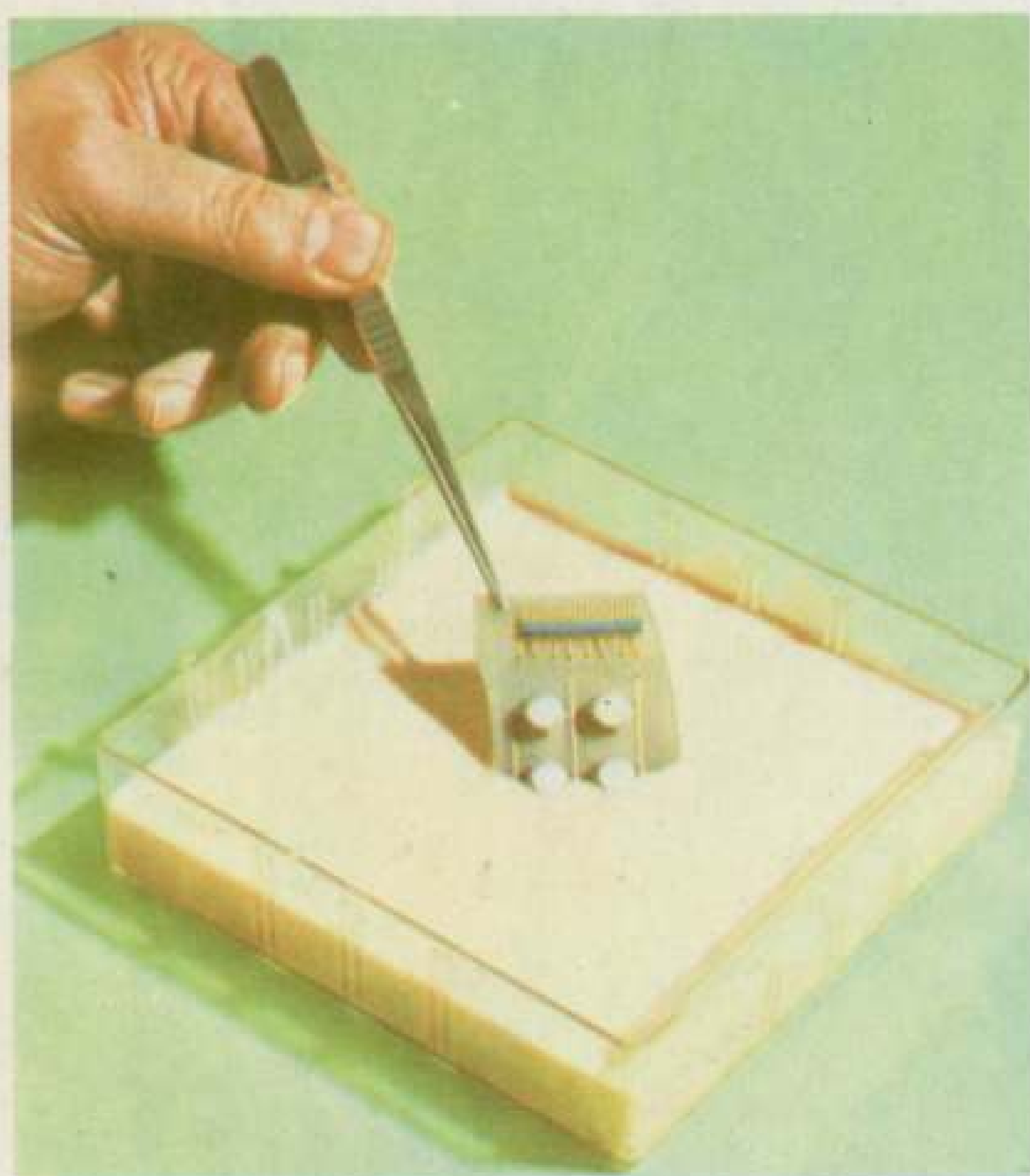


$(CH_3)_3SiCl$
H_2O
hidrólisis
$[(CH_3)_3Si]_2O$
catalizador
estabilización
fluido silicónico
$(CH_3)_2SiCl_2$
H_2O
hidrólisis
catalizador
ciclización
$[(CH_3)_2SiO]_x$ lineales y cíclicos
regulador
catalizador
$[(CH_3)_2SiO]_x$
cíclicos
destilación
goma de silicona
polimerización
$[(CH_3)_2SiO]_x$
residuo lineal
disolvente
disolvente
H_2O
catalizador
CH_3SiCl_3
mezcla
hidrólisis y condensación
resina de silicona

$(CH_3)_3SiCl$ = trimetilclorosilano
$(CH_3)_2SiCl_2$ = dimetildiclorosilano
CH_3SiCl_3 = metiltriclorosilano
$[(CH_3)_3Si]_2O$ = hexametildisiloxano
$[(CH_3)_2SiO]._2$ = polidimetilsiloxano
$[(CH_3SiO_{3/2}]._2$ = polimetilsiloxano

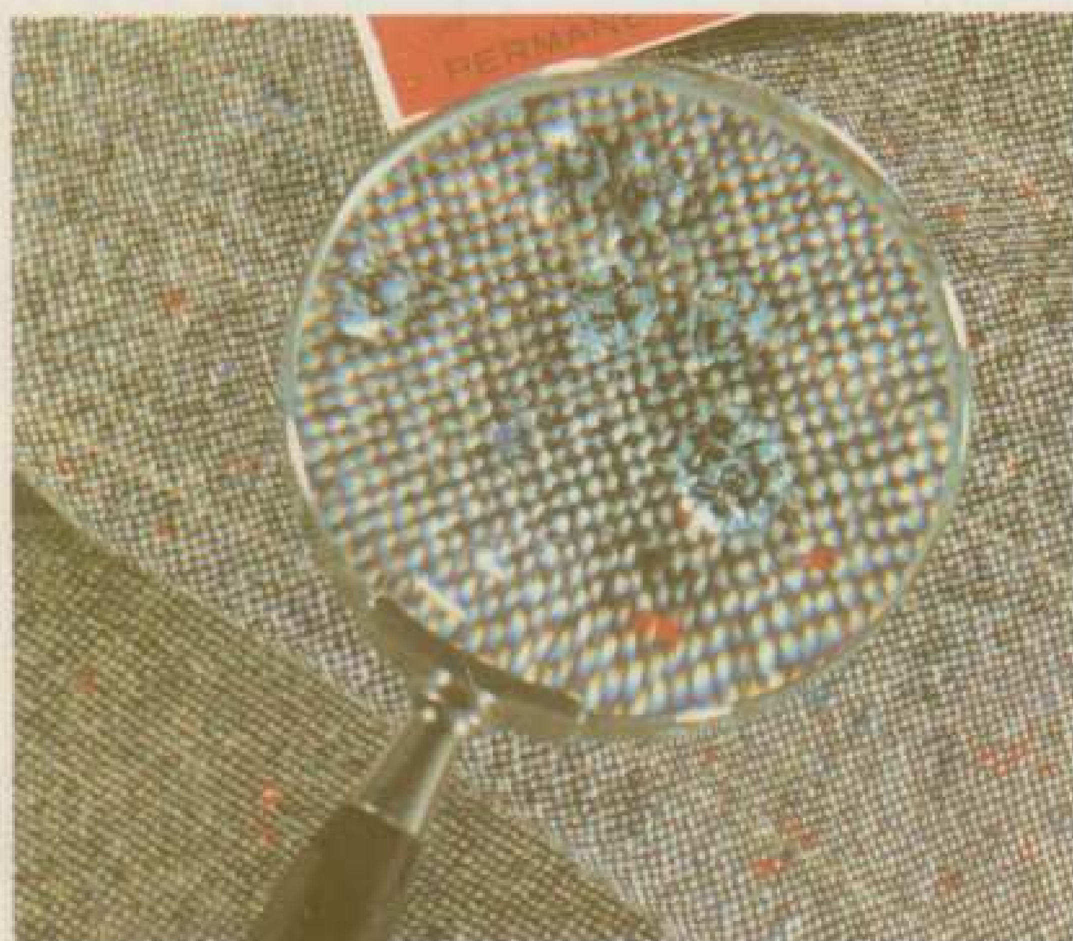
Las siliconas son polímeros que tienen generalmente una fórmula del tipo $(R_2SiO)_n$, donde R es un radical alquílico o arílico. Las siliconas se obtienen a partir de derivados orgánicos clorados de silicio (esquema de la izquierda). Según la funcionalidad de estos derivados se obtienen compuestos lineales, ramificados o reticulares. En una primera fase, se procede a la hidrólisis de los derivados y después se realiza una sucesiva condensación de los silanoles obtenidos, seguida de fases sucesivas de estabilización y polimerización. De los derivados clorados mono y difuncionales se obtienen los fluidos y las gomas; de mezclas de derivados mono, di y trifuncionales se obtienen las resinas. Los fluidos silicónicos comerciales (esquema de la página siguiente) son utilizados como lubricantes, agentes antiespumantes, agentes para despegar objetos y como elementos de algunos compuestos farmacéuticos y cosméticos. Las resinas se utilizan fundamentalmente en la producción de barnices aislantes y de láminas reforzadas con fibra de vidrio. Las gomas se emplean en la producción de tubos y en el revestimiento de hilos y cables eléctricos. Los derivados →







→ sódicos de las siliconas, obtenidos a su vez de derivados trifuncionales, encuentran su aplicación en la impregnación de fibras de vidrio. Sobre estas líneas, recubrimiento de objetos electrónicos con aislantes silicónicos. En la parte inferior, tejidos tratados con silicona para su impermeabilización.



madera, las proteínas, la resina natural y numerosos minerales. El cemento, el vidrio, los materiales plásticos y la goma son, en cambio, polímeros sintéticos, como las siliconas. Estas últimas son polímeros producidos por la hidrólisis de un diclorodialquilsilano, $(R)_2SiCl_2$, o de un clorotrialquilsilano, $(R)_3SiCl$. Así, por ejemplo, en el primer caso se produce una polimerización unidimensional en cadena de la forma: —O—Si—O—Si—O, etc., en la que los eslabones están formados por átomos de oxígeno (O) y silicio (Si) unidos sucesivamente.

Por hidrólisis de diversos cloroalquilsilanos, se obtienen siliconas bidimensionales y tridimensionales de distinto grado de condensación. A diferencia de lo que sucede con otros muchos polímeros, que contienen carbono en su estructura fundamental, las siliconas forman parte de los polímeros inorgánicos. Una característica típica de los polímeros silicónicos es su gran complejidad, ya que pueden tener moléculas con un número de átomos del orden de cien mil unidades. Se trata, pues, de una cadena de átomos enorme, que da lugar a productos particularmente flexibles y duraderos: de esta propiedad se deriva la importancia fundamental que las siliconas alcanzan en los más variados campos de la industria.

Aplicaciones Con la adición de sucesivas capas de átomos sobre las ya existentes en el retículo molecular de un polímero, se produce una continua variación de su forma final. Los diferentes tipos de siliconas tienen formas radicalmente distintas y propiedades diversas respecto a las condiciones del ambiente externo al que son expuestos, como el calor y el frío, o la inmersión en agua o en diferentes ácidos. Una de las características principales de las siliconas es su estabilidad. Son, además, insolubles en agua y sustancialmente indiferentes a las variaciones bruscas de temperatura. Igualmente, soportan valores extremos, tanto de altas como de bajas temperaturas. Esta propiedad de permanecer inalterables a los cambios de temperatura e inertes frente a los agentes del medio ambiente hace que las siliconas sean particularmente útiles en la industria.

Tipos Las *siliconas líquidas* se presentan con una amplia gama de viscosidad que va desde la liquidez propiamente dicha a las texturas casi gomosas. Dado que muchas tienen características oleosas, se utilizan para la obtención de óptimos lubricantes para motores y de buenos materiales de soporte para pinturas, barnices y productos cosméticos. En contacto con los tejidos animales, éstos permanecen absolutamente inertes, por lo que las siliconas no sólo encuentran aplicación en cosmética sino también en cirugía, especialmente en cirugía plástica.

Las *resinas* de silicona son de una gran viscosidad, pero sus aplicaciones son análogas a las anteriores. Se emplean como agentes repelentes al agua y, en la industria de los barnices, como revestimientos superficiales. Ciertas resinas especiales se utilizan también en el revestimiento interior de sartenes y ollas, evitando que se peguen los alimentos. Por último, dada su escasa conductibilidad, las resinas silicónicas se emplean en electrotecnia como materiales aislantes.

Las *gomas* de silicona presentan mayor grado de condensación y tienen un peso molecular más elevado. Comprenden los productos más pesados, menos fluidos y más duraderos de los polímeros silicónicos. Son óptimos agentes de sellado, y como tales encuentran una amplia aplicación en hornos, donde las temperaturas son especialmente elevadas. Sus características de elasticidad permiten también su utilización como aditivos en productos sometidos a esfuerzos importantes.

Véase **Adhesivos; Polímeros**

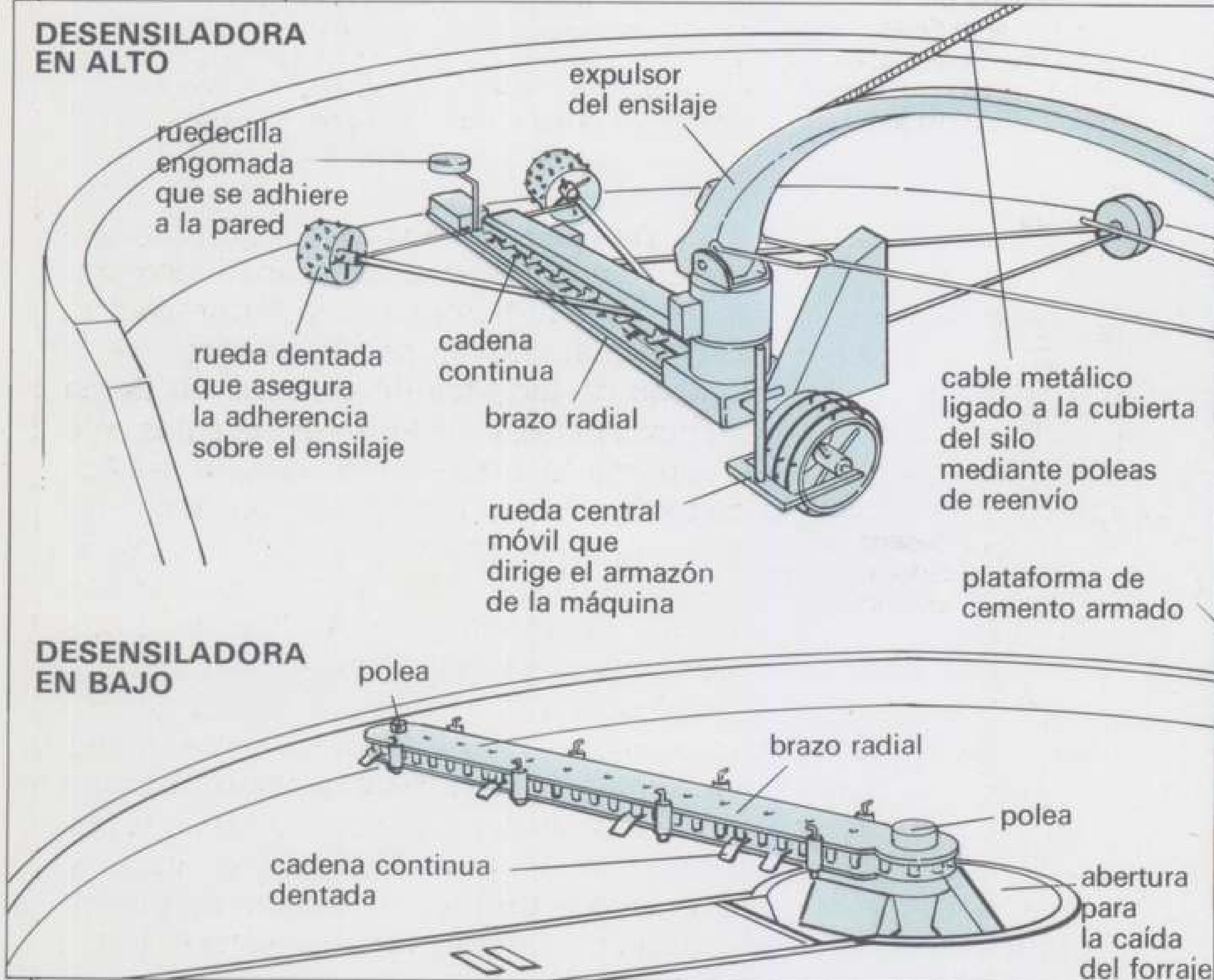
Silo

Hacia mediados del siglo XIX se publicó un tratado exhaustivo sobre la utilidad de los silos para el almacenamiento y la fermentación del forraje. En aquella época, los silos se construían bajo tierra: se rellenaba un pozo con hierba recién cortada que se comprimía y aislaba del aire por medio de tablas de madera, y se cubría después con unos treinta centímetros de tierra. En muchos lugares aún se construyen así. Sin embargo, en la actualidad, los silos suelen construirse como altas torres con la estructura de un búnker o en forma de grandes contenedores metálicos subterráneos, similares a los que se utilizan para almacenar misiles militares. No obstante, la función del silo agrícola ha permanecido inalterada. Los silos contienen el forraje verde que, una vez fermentado en su interior, se transforma en forraje ensilado, un alimento óptimo para el ganado criado en régimen de estabulación.

Tipos de silos Las diversas técnicas de almacenaje de grano y forraje destinadas a provocar su fermentación reciben el nombre genérico de *ensilado*. El silo puede estar construido con metal, madera, cemento o barro cocido. Incluso muchos de ellos se impermeabilizan del aire y la humedad por medio de revestimientos de vidrio o de material plástico. El forraje también puede almacenarse en silos pequeños formados por tablas de madera selladas con cinta de papel, que revisten fosas subterráneas similares a los pozos, o en silos de trinchera revestidos con cemento, muy parecidos a una piscina.

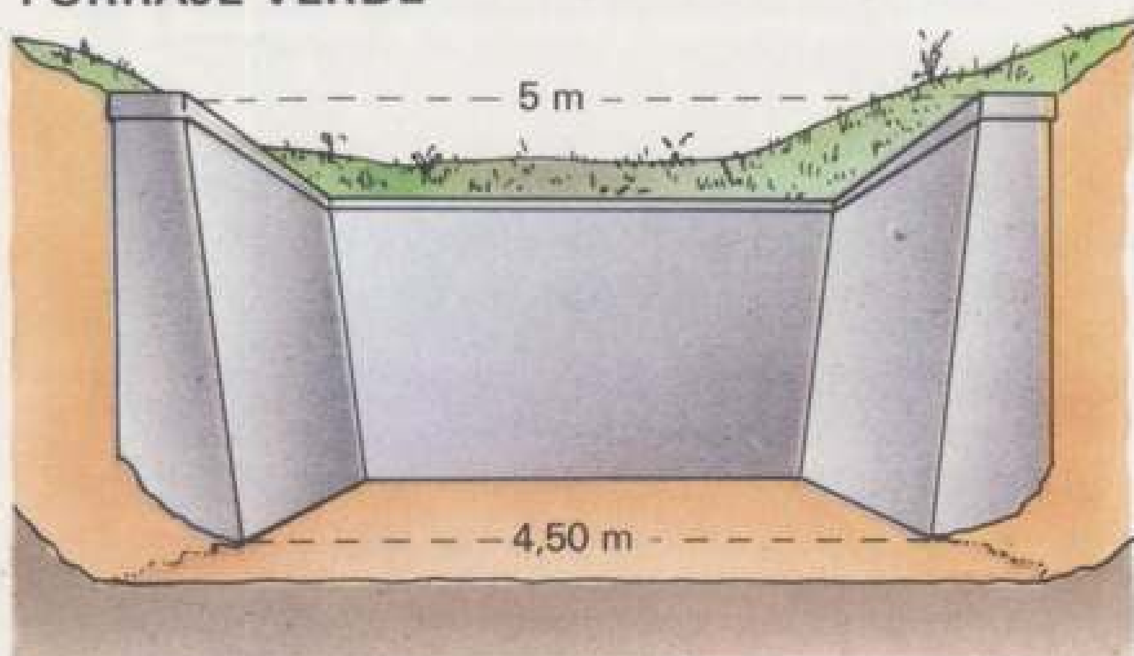
A la derecha, un silo vertical de ciclo continuo. No tiene aperturas de descarga lateral, ya que para esta operación se emplea la desensiladora, fija o montada sobre un carro, que permite su utilización en los diversos silos de la eventual batería. La plataforma de cemento armado se sostiene por medio de pilares, con objeto de poder situar bajo ella la zona de extracción y de carga. En su parte superior, el silo está provisto de "pulmones", que consisten en unos recipientes de cloruro de polivinilo en contacto con el exterior y cuyo objeto es el de compensar las variaciones de presión del dióxido de carbono en el interior del silo respecto a la presión externa y, en consecuencia, las variaciones de temperatura.

situación de los "pulmones"
tubo para el ensilado
pared monolítica de cemento armado (espesor de 0,15-0,25 m)
plataforma de cemento armado
desensiladora

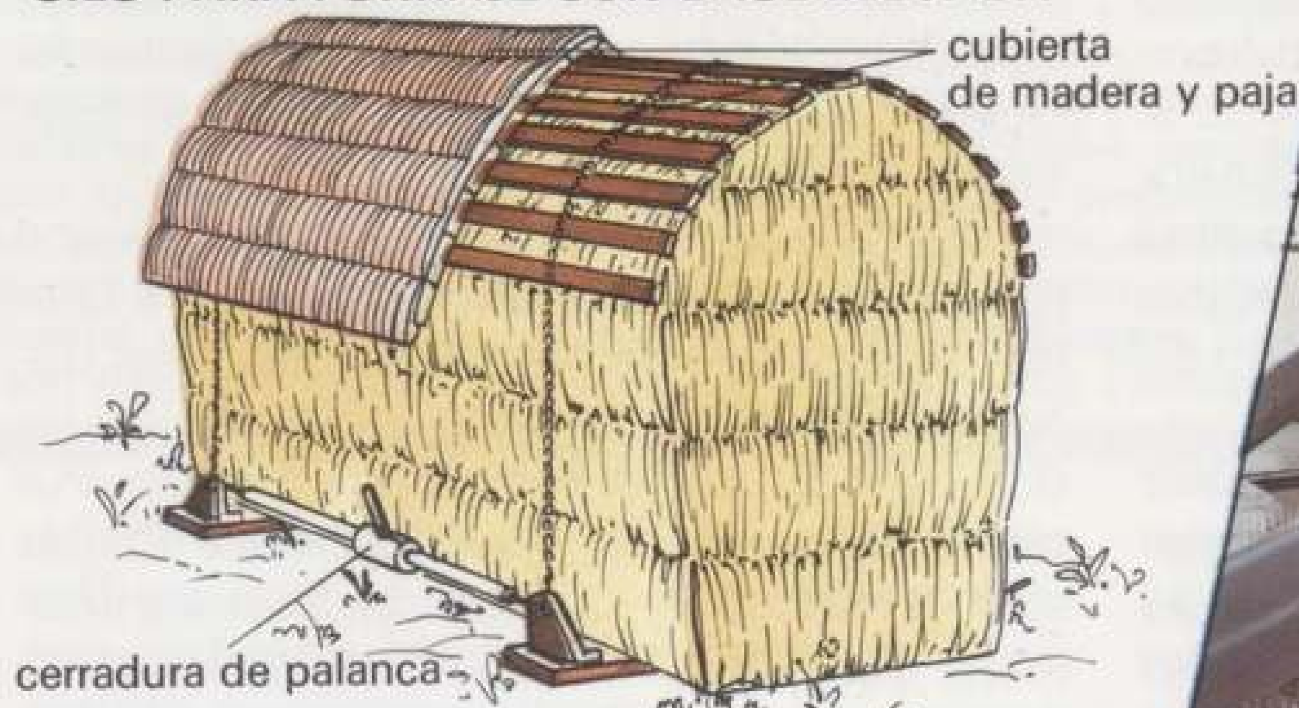


La máquina encargada de la descarga mecánica de los silos es la desensiladora. La "desensiladora en alto" se apoya sobre la parte superior del forraje contenido en el silo; la descarga del forraje se produce de forma neumática a través de unas aberturas practicadas a lo largo de las paredes laterales. La "desensiladora en bajo" rastrilla el forraje mediante una cadena dentada montada sobre un brazo giratorio, y la descarga tiene lugar a través de una abertura practicada en el centro de la plataforma. Esta, al estar sostenida mediante pilares, forma una cámara diáfana en la parte inferior del silo.

GRAN SILO DE ALBAÑILERIA PARA FORRAJE VERDE



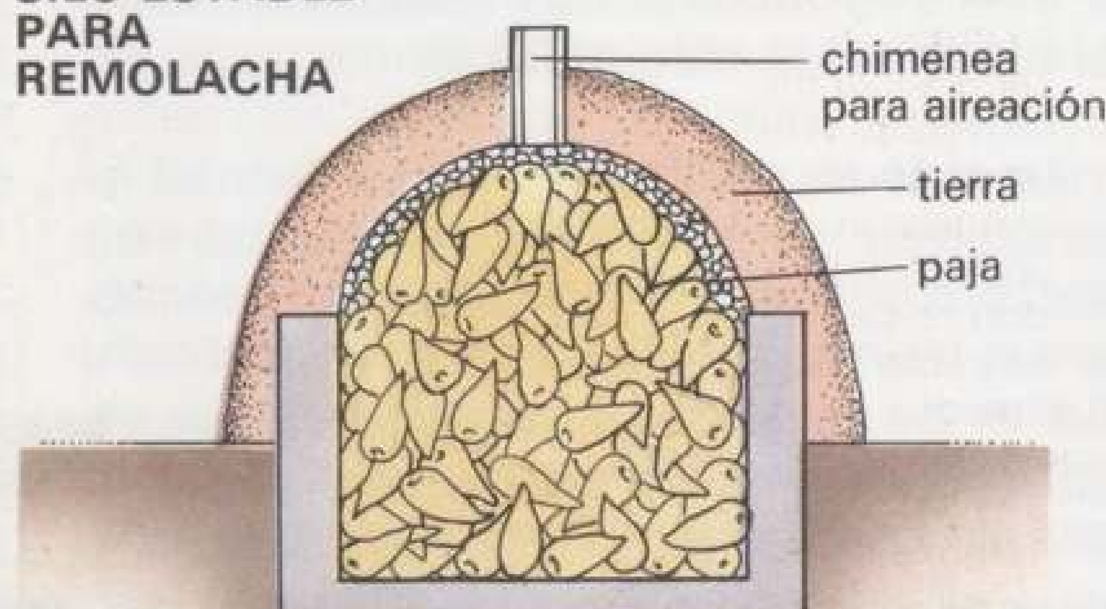
SILO PARA FORRAJE CON BASE ELEVADA

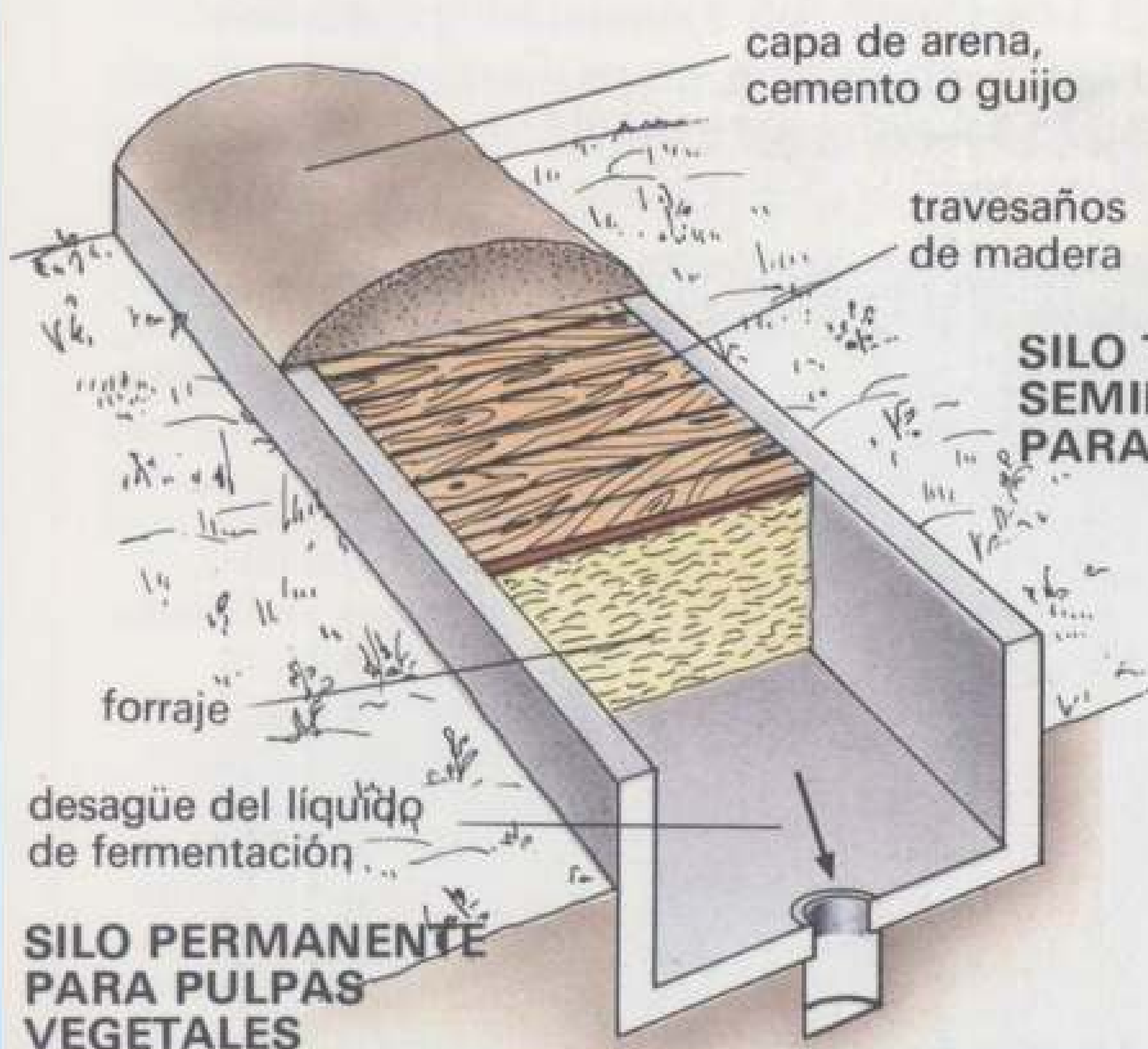


De Rica S.p.A., San Giorgo Piacentino-foto Rizzi, Arch. Fabbri

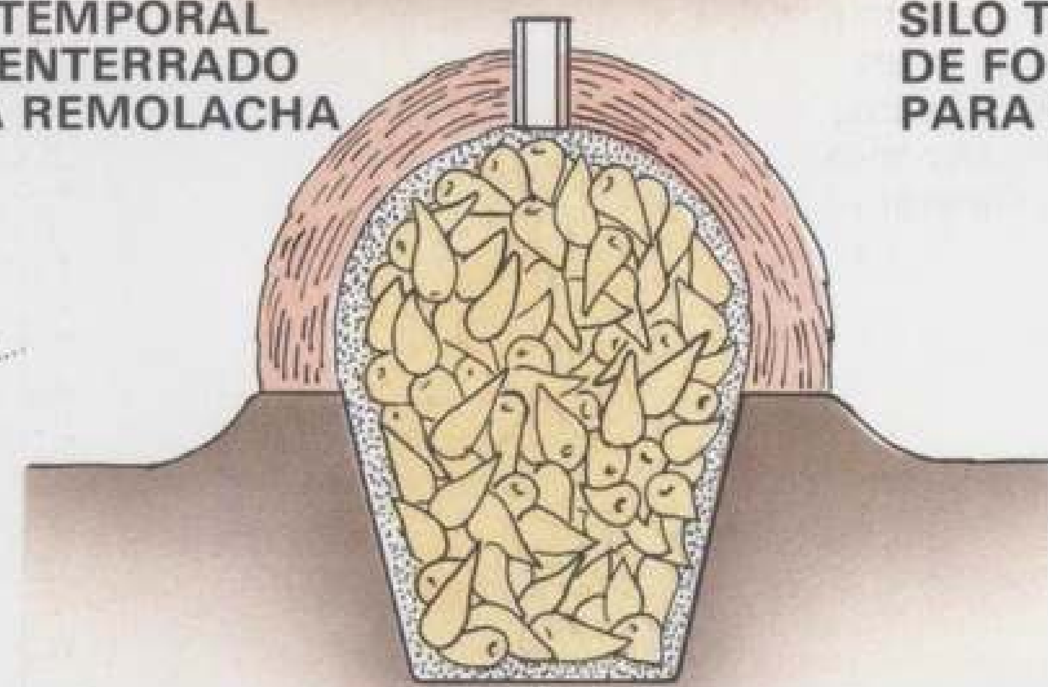
El ensilado de forrajes y vegetales como remolacha o pulpa de frutas puede efectuarse también con métodos tradicionales como los que se ilustran. En la fotografía de la derecha se puede apreciar una fase en el proceso del ensilado de guisantes, en la que éstos son clasificados por tamaños.

SILO ESTABLE PARA REMOLACHA

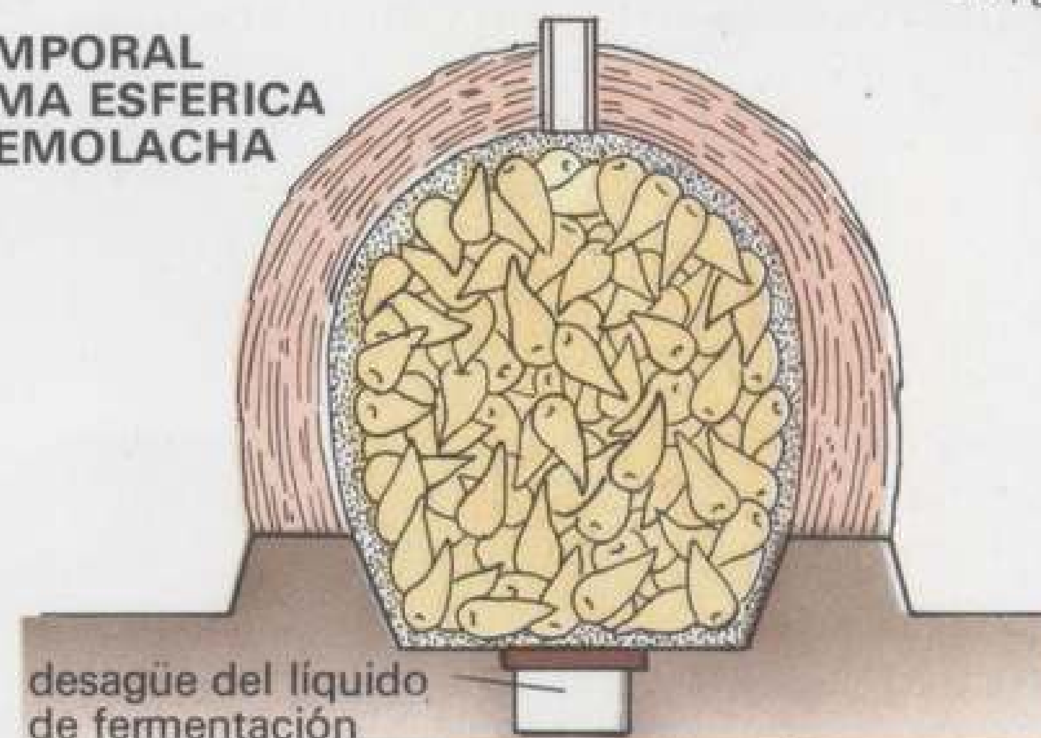




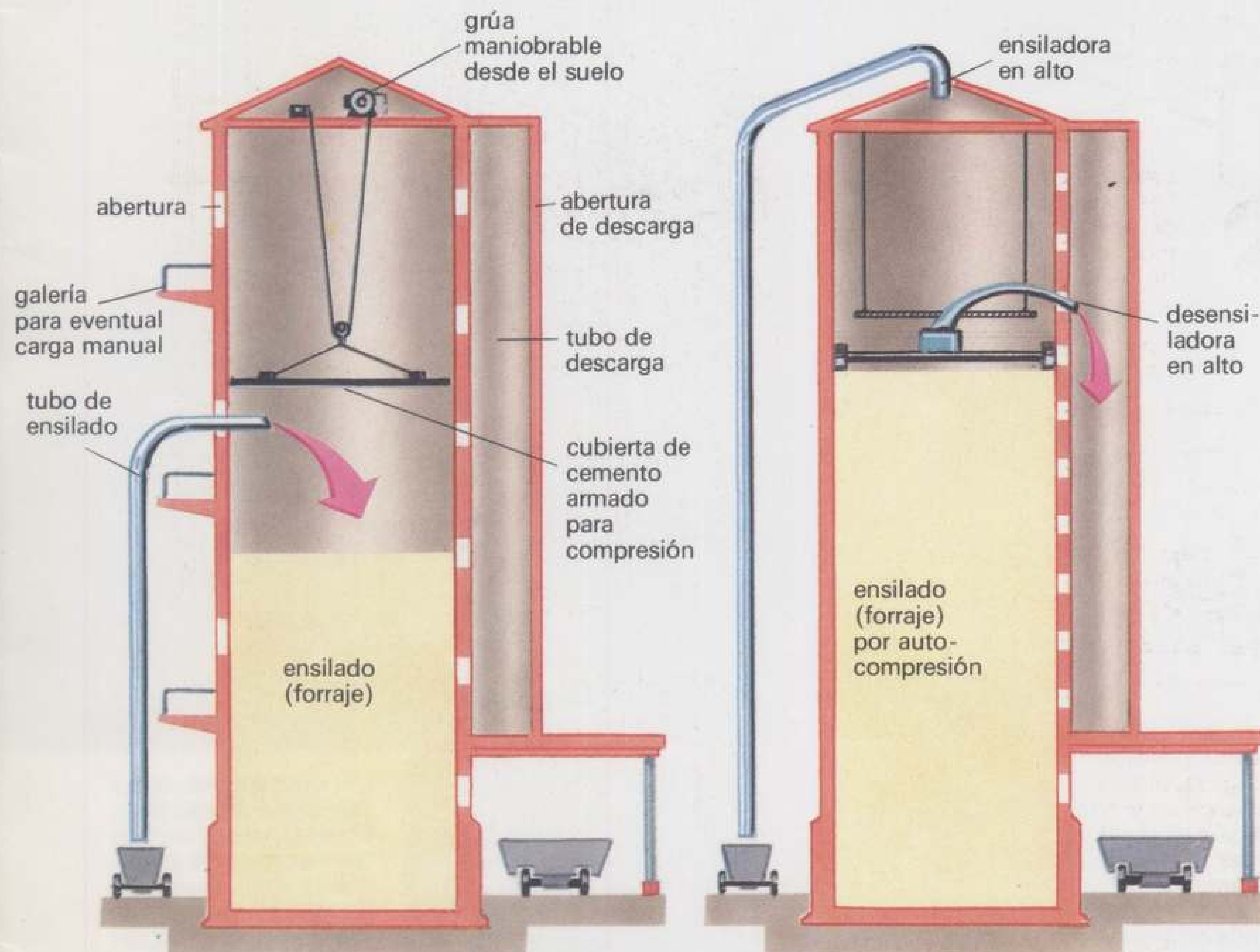
SILO TEMPORAL SEMIENTERRADO PARA REMOLACHA



SILO TEMPORAL DE FORMA ESFERICA PARA REMOLACHA



Abajo, a la izquierda, silo vertical de compresión. Esta se consigue mediante una cubierta especial que descansa sobre el ensilaje durante todo el período de la fermentación (45-50 días). La recuperación del forraje se realiza a través de un tubo de descarga lateral. A la derecha, silo vertical de autocompresión (producida por el propio peso de la columna de ensilaje) con descarga mediante desensiladoras en alto. Las fermentaciones microbianas son bloqueadas por la respiración celular del forraje, que transforma en dióxido de carbono el oxígeno contenido en el silo, que permanece cerrado herméticamente.



El proceso de ensilado El ensilado debe realizarse en unas condiciones ambientales que favorezcan la fermentación. Muy a menudo se recurre también a la adición de hidratos de carbono en forma de maíz, patatas o diferentes cereales, que favorecen la fermentación natural del ácido láctico en acético. El tiempo necesario para obtener un forraje húmedo o muy aireado, sabroso y de buena calidad es, aproximadamente, un mes. Pero si el ambiente es demasiado húmedo o aireado, o si la temperatura supera los 50 °C, se obtiene un producto de menor valor nutritivo, de sabor dulce y de aspecto oscuro y quemado. Un mal ensilado favorece la formación de ácido butílico, que da lugar al amoniaco y degrada el contenido proteínico del producto. Un buen ensilaje (forraje ensilado) se conserva fresco y nutritivo, igual que el forraje recién recogido, y es una fuente óptima de sales minerales y vitaminas, especialmente de vitamina A, constituyendo un alimento excelente para el ganado destinado a la explotación láctea y cárnica.

Véase **Bacterias; Fermentación**

Silúrico, período

El Silúrico es el tercer período del Paleozoico o Era Primaria. Comenzó hace 430 millones de años y finalizó hace 396 millones de años.

En general, se admite que en el Paleozoico persistieron tres grandes bloques continentales: el Continente Noratlántico, el Austral o de Gondwana y el Chino-Siberiano o de Angara.

Durante el Silúrico, tiene lugar la *fase Erica* de la *orogenia caledoniana*, en la que se produjeron grandes levantamientos de macizos montañosos en diversas regiones de la Tierra. Los más importantes se originan en Escocia (llamada Caledonia durante la colonización romana). Hubo además grandes plegamientos en Inglaterra, países escandinavos, Europa Central, Siberia y Groenlandia. En Norteamérica se plegaron las Montañas Verdes, aunque los efectos de esta orogenia no afectaron a la región occidental.

Durante el Silúrico inferior, la región oriental de Estados Unidos estaba cubierta por mares cálidos y poco profundos. Al producirse el levantamiento montañoso, quedó atrapado en el continente parte del Océano Atlántico, formándose así un gran mar interior.

Ese "brazo de mar" experimentó una progresiva evaporación del agua, y a finales del Silúrico se formaron enormes depósitos de sal. Esa fuerte evaporación indica que el clima era cálido y seco. Por otra parte, existen muchos restos fósiles de corales en el interior de Estados Unidos y en el Norte de Groenlandia. Estos organismos se desarrollan en aguas cálidas, lo cual corrobora la hipótesis de un clima suave durante este período.

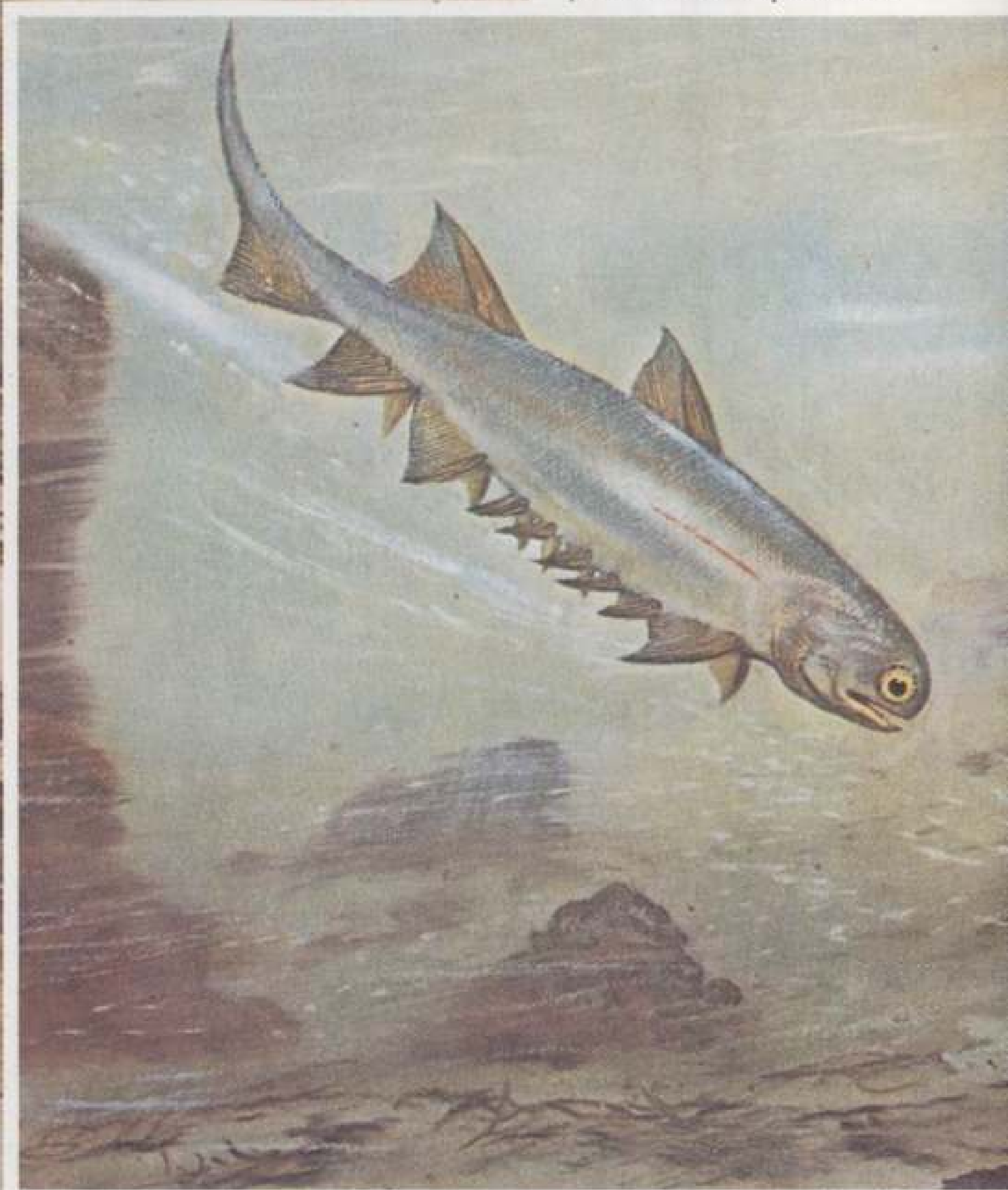
La vida en el Silúrico A finales del Silúrico se inicia la colonización de los continentes por las plantas aéreas, ya que hasta ese momento sólo se encuentran restos fósiles de algas marinas. Los primeros vegetales continentales eran plantas palustres, de un carácter intermedio entre algas y musgos, y aún muy dependientes del medio acuático. Una planta de este tipo es el género *Zosterophyllum*, de tallos y hojas subacuáticos, perteneciente a la Clase Psilofitales. Otros ejemplos son el *Psilophyton*, cuyos tallos terminaban en espiral, y el *Protolepidodendron*, posible precursor de las licopodiales, que se desarrollaron ampliamente en el Carbonífero.

También en este período se encuentran los primeros artrópodos adaptados a la vida terrestre. Inicialmente eran escorpiones muy parecidos a los actuales.

Mucho más abundante era la vida en los océanos. Las formas más llamativas eran los Gigantostráceos, artrópodos acuáticos que podían alcanzar enormes tamaños, como el género *Euryterus*, una especie de escorpión marino que podía superar el metro de longitud.

Los primeros vertebrados fósiles hicieron su aparición en el Ordovícico, continuándose durante el Silúrico. Se trataba de Agnatos, o "peces acorazados", carentes

A finales del Silúrico, las zonas palustres y las cercanas a la costa estaban cubiertas de vegetales pertenecientes a la clase Psilofitales, criptógamas vasculares con tallos y hojas subacuáticos. En los extremos de los tallos poseían sus órganos reproductores, los esporangios. El dibujo (izquierda) representa ejemplares del género *Drepanophycus*, parecidos al lipocodio.



Los Acantódidos, que aparecen a finales del Silúrico, eran pequeños, generalmente de agua dulce y con el cuerpo recubierto de escamas. Poseían fuertes espinas en sus aletas.

El Silúrico es el tercer período del Paleozoico o Era Primaria. Comenzó hace 430 millones de años y duró 66 millones de años. A finales de este período finaliza la orogenia caledoniana, comenzando un período de escasa actividad tectónica en el Devónico. Durante el Silúrico tiene lugar la fase Erica, última de la orogenia caledoniana, que origina relieves en Alaska, Groenlandia, Irlanda, Inglaterra y Escocia, península Escandinava, Asia y parte centro-oriental de Australia. Paralelamente a la formación de esos relieves se forma una nueva corteza continental, cubierta en algunas zonas por mares poco profundos que son abundantemente colonizados por corales y celentéreos en general. Los braquiópodos, graptolitos, equinodermos, moluscos y trilobites presentan también un gran apogeo. Destaca la presencia de Eurypteridos, artrópodos similares a los escorpiones actuales, pero marinos y de gran tamaño. La abundancia de zonas palustres y el predominio de un ambiente húmedo y cálido favoreció la colonización del medio terrestre por las plantas, que consiguen aislarse del medio acuático gracias al desarrollo de tejidos de sostén y de sistemas vasoconductores. Se han encontrado en estado fósil los géneros *Baragwanathia, Zosterophyllum, Hedeia, Yarravia*, etcétera.

de mandíbulas y con un esqueleto dérmico muy desarrollado.

Eran muy frecuentes los trilobites, artrópodos marinos que tenían el cuerpo dividido en tres regiones, y estaban formados por muchos segmentos articulados, de tal modo que podían arrollarse sobre sí mismos. También abundaban los cefalópodos, que tenían formas muy variadas.

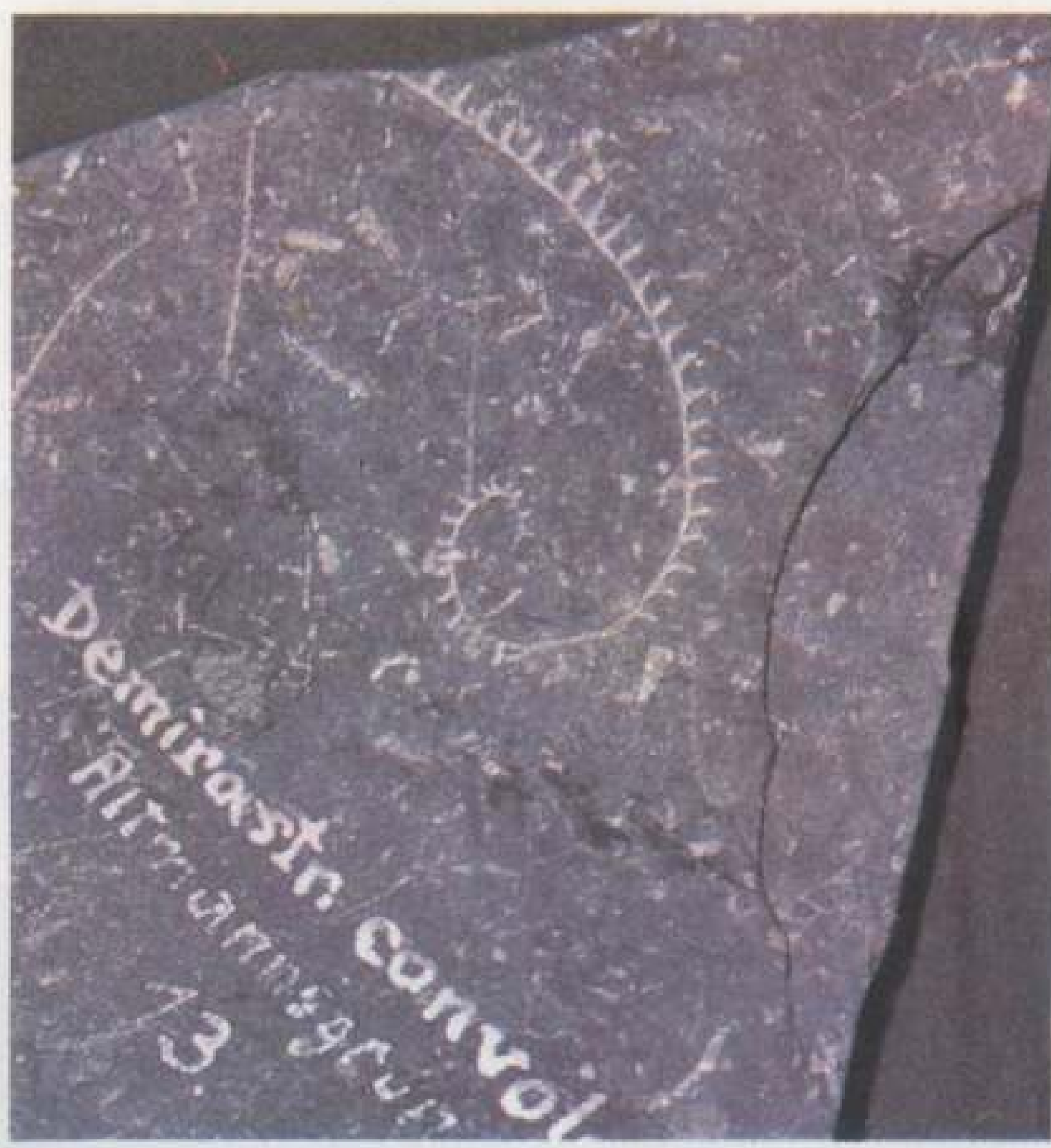
Yacimientos minerales del Silúrico El mayor yacimiento de mercurio del mundo se encuentra en areniscas del Silúrico cercanas a Almadén (España). El mercurio, de origen volcánico o termal, se encuentra frecuentemente en forma de cinabrio. También en Estados Unidos, y entre materiales del período Silúrico, se encuentran importantes yacimientos de hierro. El hierro se extrae principalmente a partir de minerales como las hematites, la siderita, la limonita, etc., de origen sedimentario (producido por procesos de sedimentación) o diagenético (procesos posteriores a la sedimentación, como la circulación de iones, alteraciones del pH, etc.).

Por lo general, en estos procesos diagenéticos se originan minerales que vienen a ocupar los huecos dejados por otro mineral que se ha disuelto por no ser estable en las nuevas condiciones, de manera que no es raro encontrar fósiles en los que la calcita o el aragonito (ambos de fórmula $CaCO_3$) han sido sustituidos por pirita (S_2Fe) o hematites (Fe_2O_3).

La evaporación del mar interior que se formó en Norteamérica dio lugar a grandes depósitos de sal.

Véase **Carbonífero, período; Fósiles y fosilización; Geología; Paleozoica, era**





Los graptolitos son un grupo biológico actualmente extinguido, perteneciente a los hemicordados. Eran → organismos coloniales; los individuos o zooides quedaban unidos a un esqueleto escleroproteico, el *rhabdosoma*. Se trataba generalmente de organismos planctónicos, a veces fijados a objetos flotantes. A la izquierda, ejemplares de *Monograptus pandus*, a la derecha, un ejemplar de *Monograptus convolutus*.

Los nautiloides son moluscos cefalópodos, con un único género actual, *Nautilus*. En el Silúrico abundaban los nautiloides de concha recta y los de concha poco arrollada.

Silvicultura

Hubo un tiempo en que enormes masas boscosas cubrían la mayor parte de Europa, América y Asia. Desde que el hombre empezó a cultivar la tierra, vio en los bosques un impedimento para su progreso. Los fue talando y quemando para erigir ciudades y extender los campos de labranza. Sólo en nuestro siglo y, más concretamente, en los últimos años, se han comenzado a realizar esfuerzos significativos para salvar los bosques de la destrucción de que son objeto por parte de una población en constante aumento, que necesita, por un lado, terreno cultivable, y, por otro, madera como materia prima de numerosas industrias.

La silvicultura asume la administración social y económica de los bosques y montes con el fin de producir, de forma racional, los máximos bienes y servicios. Comprende el cultivo y mantenimiento de los bosques y se encarga de su conservación en función del tipo de madera que se necesita (en lo que se refiere a la especie y a las dimensiones), así como de la recuperación de las zonas que ya han sido explotadas.

La silvicultura moderna tiene dos vertientes principales: por un lado, el *uso múltiple* o administración de un territorio para distintos fines (industria, recreo, etc.) y, por otro, el *rendimiento sostenido* o producción constante.

La administración y cuidado de un bosque se inicia con la delimitación del territorio exacto que ocupa, estableciendo de esta manera su extensión. A continuación se señalan sobre un mapa los caracteres físicos y topográficos de la masa fosteral con el fin de controlar todas las informaciones que se vayan obteniendo. También hay que tomar medidas de protección contra los posibles daños que puedan causar a la vegetación las plagas y ciertas enfermedades, que pueden constituir una grave amenaza. Por último, hay que mantener un exacto control de la población de animales silvestres, ya que algunos que se alimentan de cortezas de árboles o semillas pueden llegar también a ser perjudiciales para el bosque.

Siembra y plantación Las semillas de los árboles se recolectan cuando están maduras, generalmente antes de que se caigan del árbol, ya que, en caso contrario, pueden echarse a perder. La mayoría se recolectan en otoño, aunque hay algunas, como las de los arces rojo y blanco, el álamo temblón, el chopo, el olmo o el sauce, que se recolectan en primavera. Las semillas se conservan durante un tiempo, que puede variar de unos meses a varios años; incluso, hay muchas semillas que, si se mantienen a baja temperatura, son capaces de germinar después de diez años.

Las variedades de árboles que no pueden reproducirse por sí mismos mediante semillas deben ser multiplicados por esquejes o, en el caso de que éstos no enraícen, mediante injerto.

La forma de plantación depende del tipo de terreno, si es irregular y ondulado: después de limpiarlo, se cava una hoya de unos 60 cm de diámetro para cada planta. Si se trata de un terreno herbáceo, se aran unos surcos distanciados entre sí unos tres metros, aproximadamente. Si el terreno está en pendiente, la humedad y el suelo se conservan haciendo los surcos a un mismo nivel o adaptándolos a las líneas naturales del terreno.

Las semillas se siembran en viveros donde germinan hasta convertirse en árboles jóvenes. Estos pueden permanecer en el vivero hasta cuatro años, después de los cuales y una vez alcanzada una altura de unos 30 cm se trasplantan.

Existen máquinas muy eficaces que son capaces de plantar unos 10.000 árboles en un sólo día. Si el terreno es muy ondulado y rocoso la plantación se efectúa a mano. Según las dificultades que se presenten, un trabajador puede plantar hasta 500 árboles en un día.

Cuando las condiciones climáticas y ambientales son especialmente difíciles, las plantas se pueden cultivar en tiestos que protegen las raíces hasta que sean capaces de resistir por sí solas. Otras veces se emplean pequeños tubos de plástico, que envuelven las raíces de los plantones y que se introducen en el suelo a la profundidad adecuada mediante unos instrumentos especialmente diseñados. Otras veces, simplemente, se dejan caer las semillas sin protección alguna en los surcos que se han preparado previamente.



A la izquierda, bosque de abetos en una zona montañosa. Arriba, un nido de procesionaria del pino, que destruye infatigablemente las agujas de este árbol y puede provocar importantes daños.

Administración de los bosques Hay muchos bosques de gran valor económico y social que son objeto de constantes cuidados tanto para su conservación como lugar de interés ecológico y recreativo como para su explotación como masa maderable.

La talas deben realizarse con una frecuencia y una intensidad moderadas, de

OFICINAS Y LABORATORIOS

- análisis químico de los suelos
- análisis parasitológico
- estudios para la aplicación de antiparasitarios
- estudios sobre la adaptación de las distintas especies
- control de los viveros
- proyectos de talas
- asistencia (y control) a los propietarios privados

VIVEROS

- cultivo de nuevas especies
- producción
- plantación de las especies

EJEMPLOS DE TERRENOS TODAVIA SIN REPOBLAR

- pedreras de alta montaña
- escombreras
- terrenos anegables
- terrenos agrícolas degradados por abandono

EJEMPLOS DE TERRENOS YA REPOBLADOS

- área esencialmente de tipo 1 y de clima de taiga
- área esencialmente de tipo 2 y de clima de bosques fríos
- área esencialmente de tipo 3 y de clima semiárido

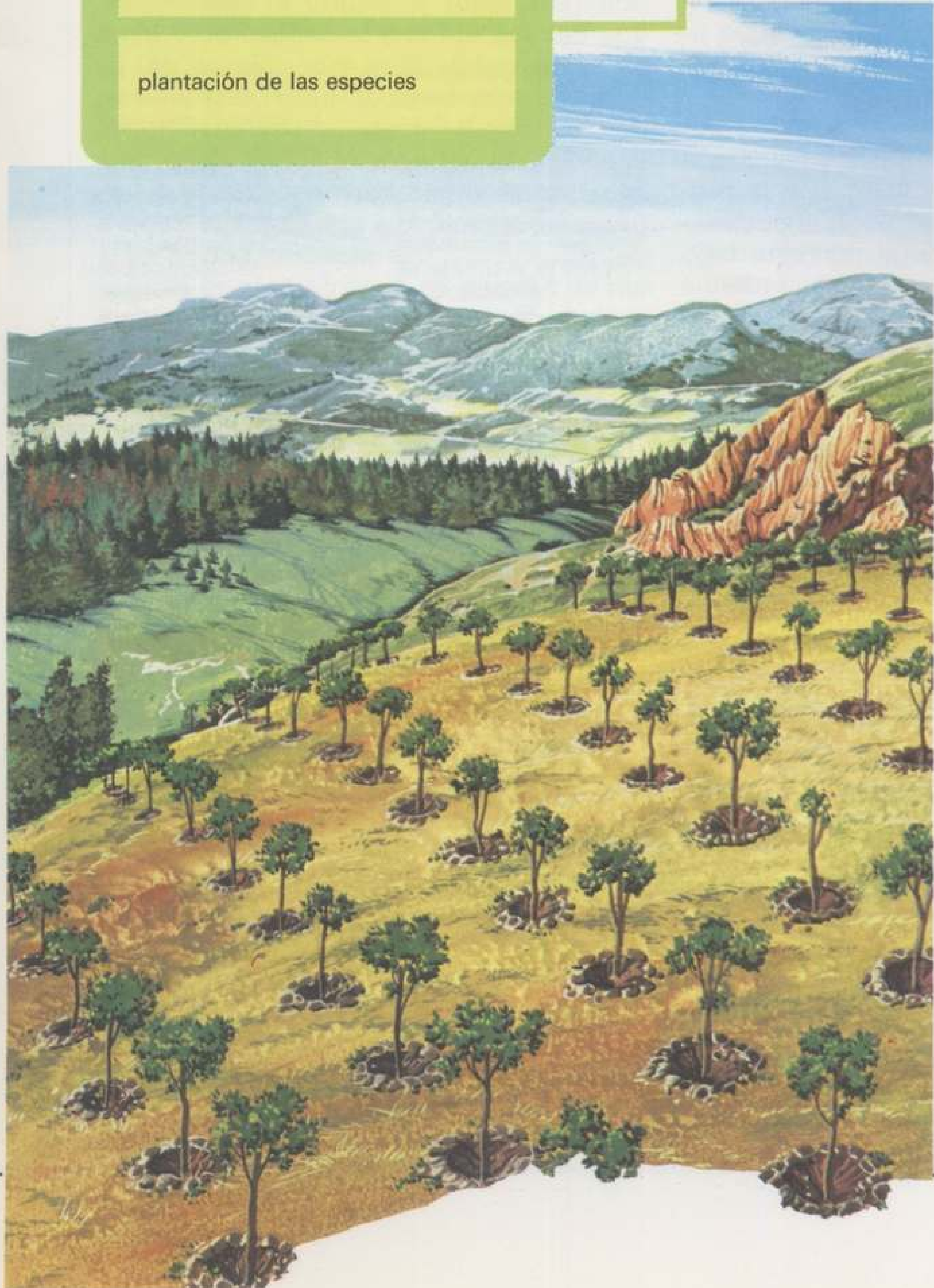
ACTIVIDADES DE PROTECCION

- localización de incendios desde tierra
- localización de incendios mediante satélites
- control parasitológico
- control de los daños provocados por inclemencias climáticas

MEDIOS DE INTERVENCION

- destacamentos forestales
- coches de extinción
- aviones contraincendios
- tractores oruga con pala, motosierras, plantadoras





Sobre estas líneas, repoblación de una colina. A la izquierda, plantación de árboles en una ladera. Se observa las hoyas, excavadas para introducir las raíces, y el carácter regular de la plantación. Arriba, esquema que describe las principales actividades de los organismos estatales que, en muchos países, se encargan del mantenimiento del patrimonio forestal. Se puede observar la gran diversidad de funciones, que van desde la investigación, a los viveros y a la protección de los bosques.

manera que el bosque conserve su máxima productividad.

Los incendios constituyen, en la actualidad, uno de los más graves peligros para montes y bosques, sobre todo en las áreas mediterráneas. Por ello, su prevención se encuentra entre las tareas de mayor prioridad a llevar a cabo dentro del conjunto de operaciones de control y vigilancia. Si, a pesar de las medidas preventivas, se declarara un incendio, las condiciones de acceso al lugar del incendio y la disponibilidad de equipos para sofocarlo deben ser óptimas con el fin de que afecte a la menor superficie posible.

Véase **Bosque; Incendios, lucha contra**

Síntesis de proteínas

En nuestro cuerpo existen más de 30.000 tipos diferentes de moléculas proteínicas, que juegan papeles esenciales. Así, los enzimas, que catalizan específicamente las reacciones metabólicas, tienen naturaleza proteínica; también son proteínas las moléculas que constituyen los anticuerpos, sustancias producidas por el sistema inmunitario que nos defienden de las invasiones por bacterias o virus y de ciertas toxinas; asimismo, hay proteínas que constituyen el soporte estructural de ciertas partes del cuerpo, como la piel, el pelo, las uñas y otros muchos órganos y tejidos. Se puede afirmar que si nosotros somos diferentes de una bacteria, ello se debe, en buena medida, a que nuestras proteínas son diferentes de las suyas.

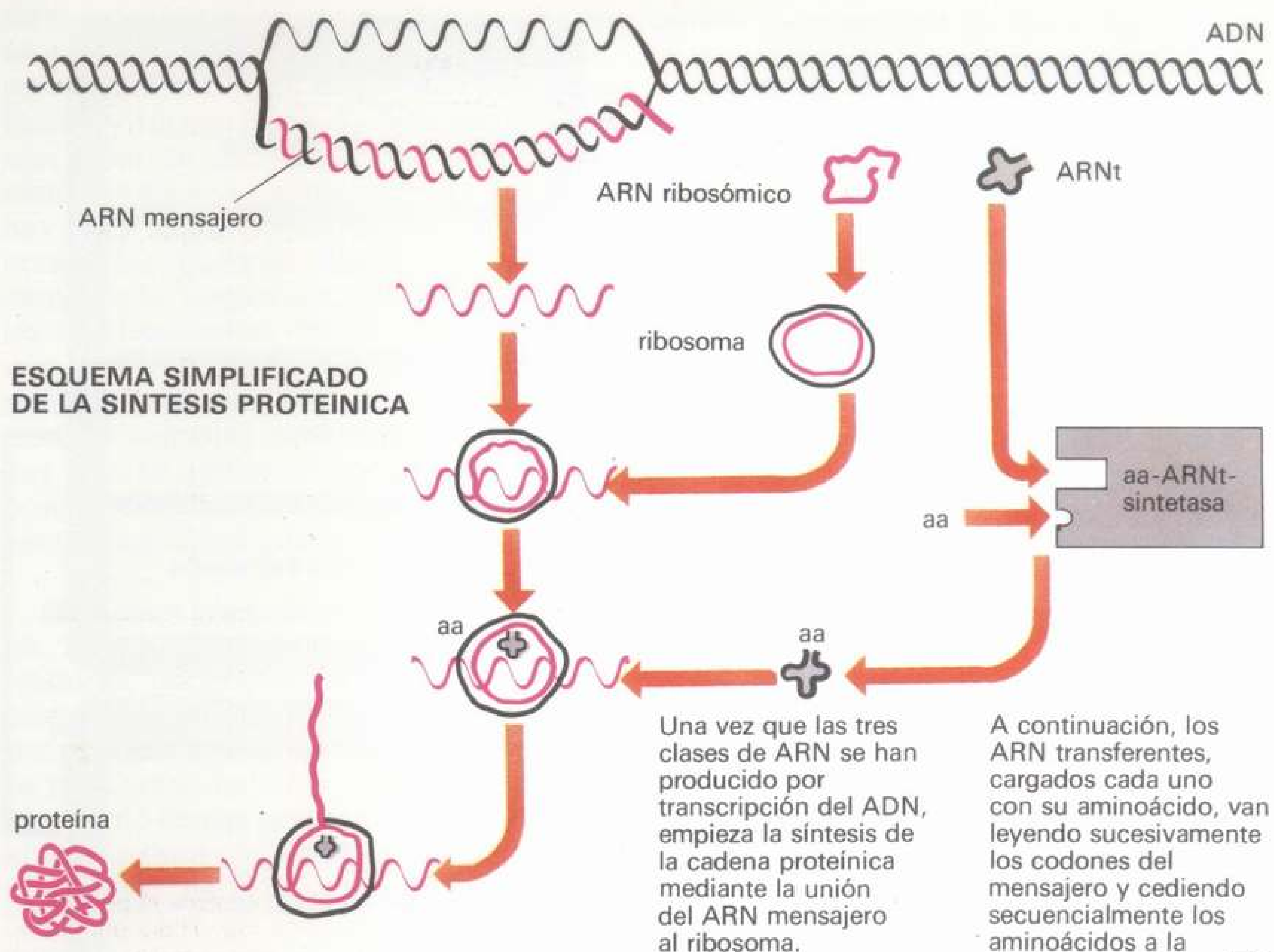
Las proteínas están formadas por moléculas más sencillas, llamadas *aminoácidos*, que se unen unas a otras formando cadenas lineales, sin ramificaciones. Aunque en la Naturaleza hay más de 50 aminoácidos, sólo 20, los mismos en todas las especies, entran a formar parte de las proteínas. Cada proteína se caracteriza por el orden en que sus aminoácidos constituyentes se engarzan unos con otros. Dicho orden está gobernado por el ácido desoxirribonucleico (ADN), cuya estructura molecular fue elucidada por Watson y Crick en 1953.

La expresión de los genes El ADN se compone también de moléculas más sencillas, llamadas *nucleótidos*, que se engarzan para formar las cadenas lineales. De los varios nucleótidos existentes, sólo 4, los simbolizados por las letras A, T, G y C, entran a formar parte del ADN. La secuencia de nucleótidos del ADN determina la secuencia de aminoácidos de cada proteína. Un gen es, precisamente, el segmento de ADN que rige la síntesis de una proteína determinada.

Los genes dirigen, pero no llevan a cabo directamente, la tarea de sintetizar las proteínas; más concretamente los genes se encargan de la síntesis de las moléculas del otro tipo de ácido nucleico, el ácido ribonucleico (ARN), y son moléculas de ARN las que llevan a cabo la síntesis proteínica.

Las moléculas de ARN también se forman por la polimerización lineal de 4 tipos de nucleótidos, los simbolizados por las letras A, U, G y C. Cada molécula de ARN viene determinada por un segmento (gen) de ADN. Las reglas para sintetizar ARN a partir de ADN son sorprendentemente sencillas: donde en el ADN haya A, en el ARN se pone U; donde hay T se pone A, donde hay G se pone C y donde C se pone U. El proceso de síntesis de ARN dirigida por ADN se llama *transpiración* y constituye la primera fase de la expresión genética.

La síntesis de proteínas Según la función que cumplen en la síntesis de proteínas se distinguen tres tipos de ácidos ribonucleicos. La primera clase es el ácido ribonucleico ribosómico (ARNr), llamado así porque su función consiste en unirse a ciertas proteínas ya formadas para originar unos orgánulos celulares, los *ribosomas*, en cuyo seno tiene lugar la síntesis de las nuevas proteínas.

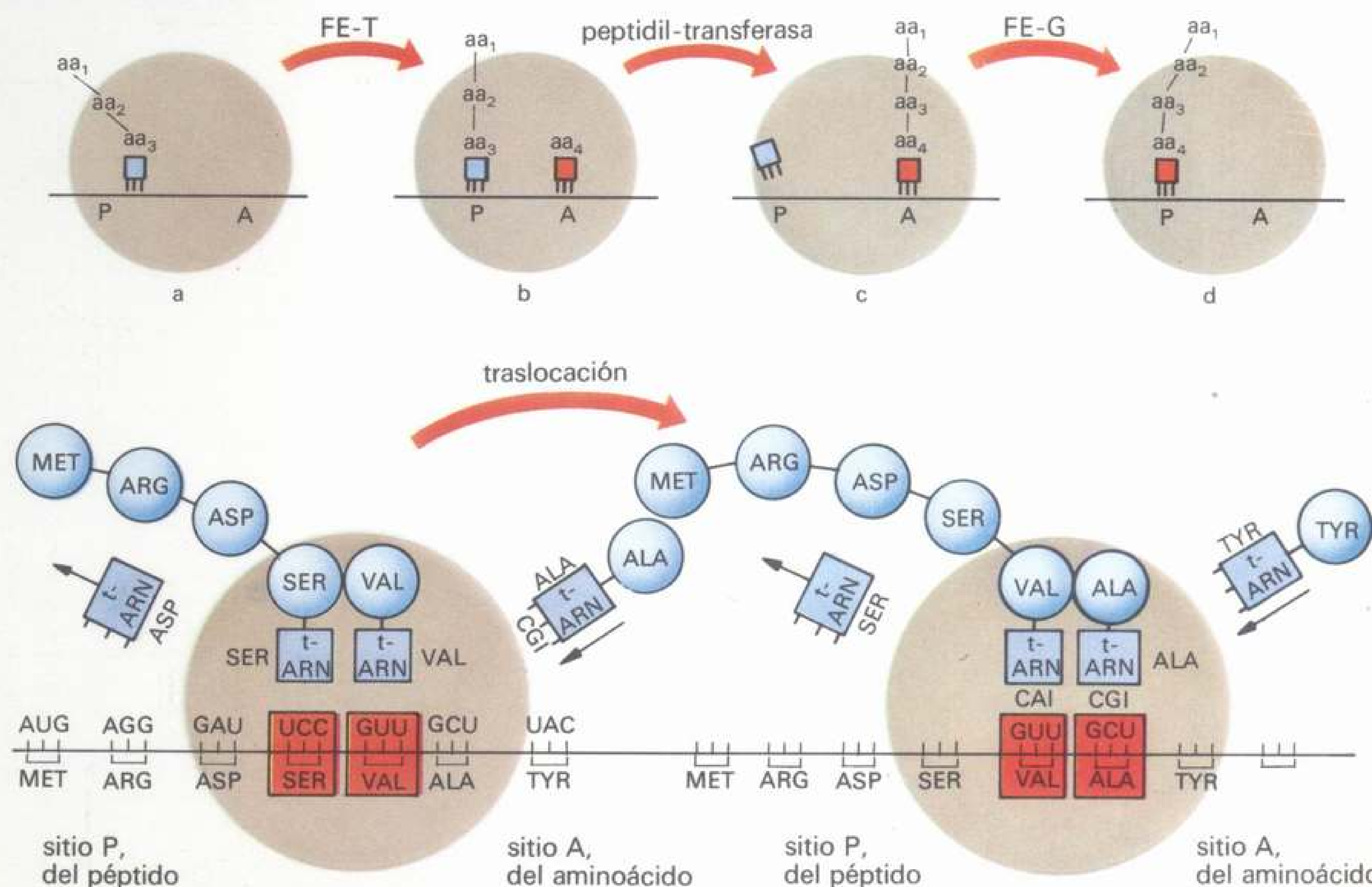


Una vez que las tres clases de ARN se han producido por transcripción del ADN, empieza la síntesis de la cadena proteínica mediante la unión del ARN mensajero al ribosoma.

A continuación, los ARN transferentes, cargados cada uno con su aminoácido, van leyendo sucesivamente los codones del mensajero y cediendo secuencialmente los aminoácidos a la →

La segunda clase de ARN es el ácido ribonucleico transferente (ARNt), cuya función consiste en unirse químicamente al aminoácido y transferirlo a la cadena naciente de proteína. Hay más de veinte tipos distintos de ARNt, cada uno específico de un aminoácido determinado.

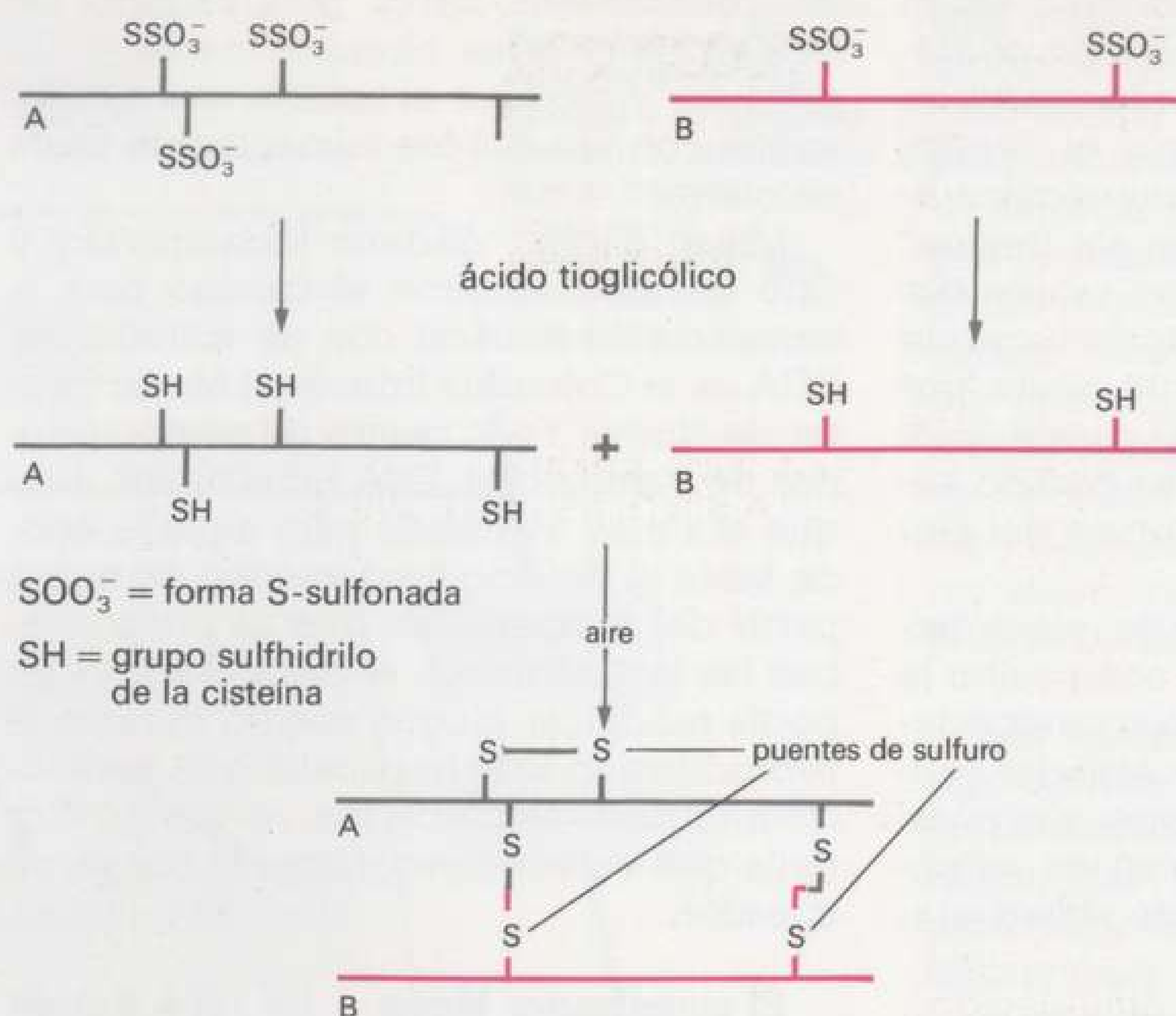
El tercer tipo de ARN es el ácido ribonucleico mensajero (ARNm), cuya función consiste en especificar, mediante la propia secuencia de nucleótidos, la secuencia de aminoácidos de la proteína bajo síntesis. Cada aminoácido de la proteína viene determinado por un conjunto de tres nucleótidos consecutivos, o *codón*, del mensajero. El aminoácido no interacciona directamente con el mensajero; en realidad el aminoácido se transfiere unido al transferente y es una secuencia de tres nucleótidos consecutivos, o *anticodón*, del transferente lo que interacciona con el codón. Cuando el transferente ha leído el codón pertinente y cedido el aminoácido que llevaba unido a la cadena proteínica naciente, queda libre y se disocia del ribosoma para reclutar nuevos aminoácidos. La síntesis continúa por adición secuencial de aminoácidos, hasta que, tras añadirse el último correspondiente a esa proteína, la molécula proteínica se separa del ribosoma y, tras madurar, pasa a ejercer su función en el organismo. El ribosoma y el mensajero pueden intervenir en otras rondas de síntesis proteínica.



La clave genética Se llama así a la tabla que nos proporciona el aminoácido correspondiente a cada codón, y que fue determinada gracias a los esfuerzos, entre otros, del español Severo Ochoa. Puesto que cada codón consta de tres nucleótidos consecutivos y hay cuatro clases de nucleótidos en el ARN, se deduce que hay sesenta y cuatro (4 × 4 × 4) codones distintos. Como sólo hay veinte clases de aminoácidos distintos que entren a formar parte de las proteínas, resulta intrigante averiguar la función de los cuarenta y cuatro codones restantes. Resulta que tres de ellos, UGA, UAG y UAA, no especifican ningún aminoácido, sino el fin del mensaje genético: cuando alguno de esos tres codones tiene que ser traducido, no hay ningún transferente cuyo anticodón lo reconozca y el resultado es que la proteína se disocia del ribosoma y no acepta más aminoácidos.

Quedan aún cuarenta y un codones en exceso, cuya función consiste en especificar algún aminoácido ya especificado por alguno de los primeros veinte codones citados. De este modo, aunque a ningún codón le corresponde más de un aminoácido, la mayoría de los aminoácidos viene especificada por más de un codón. Así, algunos aminoácidos disponen de seis codones cada uno.

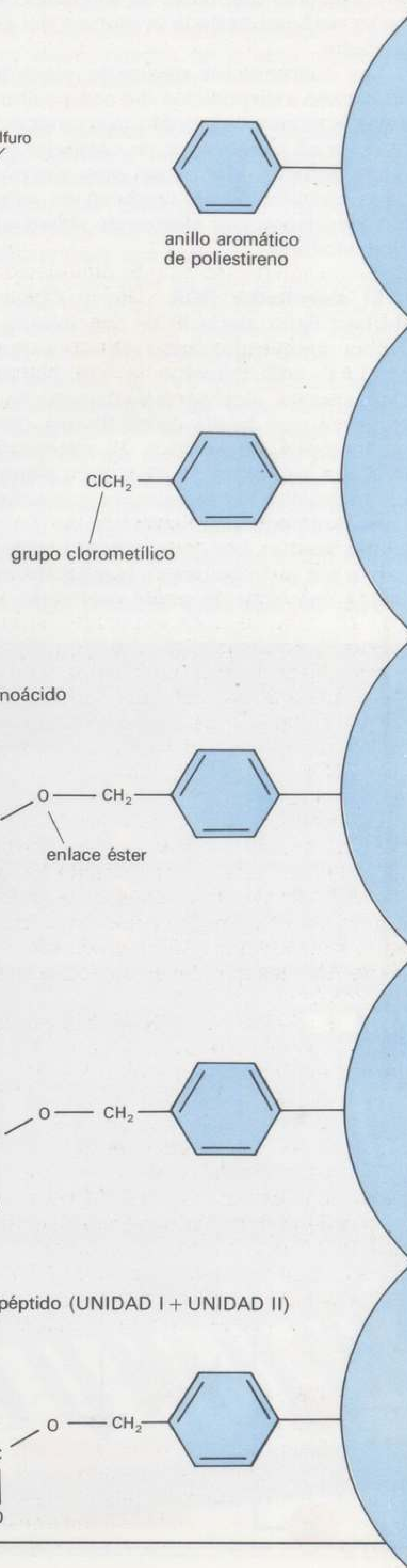
Véase **Desoxirribonucleico y ribonucleico, ácidos; Gen; Proteínas**



Para obtener sintéticamente la hormona de la insulina, se asocian, mediante ácido tioglicólico, la cadena A y la B. Luego, los grupos sulfhidrilos se oxidan lentamente por estar expuestos al aire y se forman los tres puentes disulfuro característicos de la insulina natural.

Se han ideado distintos métodos de síntesis automática de proteínas. En el método en fase sólida que aquí se describe, la síntesis se ejecuta desde el extremo carboxílico de la proteína al anímico. Primero un anillo aromático de poliestireno es activado por un grupo clorometílico.

A continuación, se coloca el primer aminoácido, unido mediante un enlace éster al metilo, y cuyo grupo amino queda bloqueado químicamente. Gradualmente se van añadiendo los aminoácidos de la cadena y, finalmente, se separa el grupo metilbencilo del extremo carboxilo de la proteína.



→ cadena proteínica naciente, hasta completar su síntesis y hasta que la proteína se separe del ribosoma cuando el codón a ser leído sea alguno de los tres codones de terminación. El ribosoma presenta dos sitios funcionales: un sitio P para el péptido y un sitio A para el aminoácido. ↓

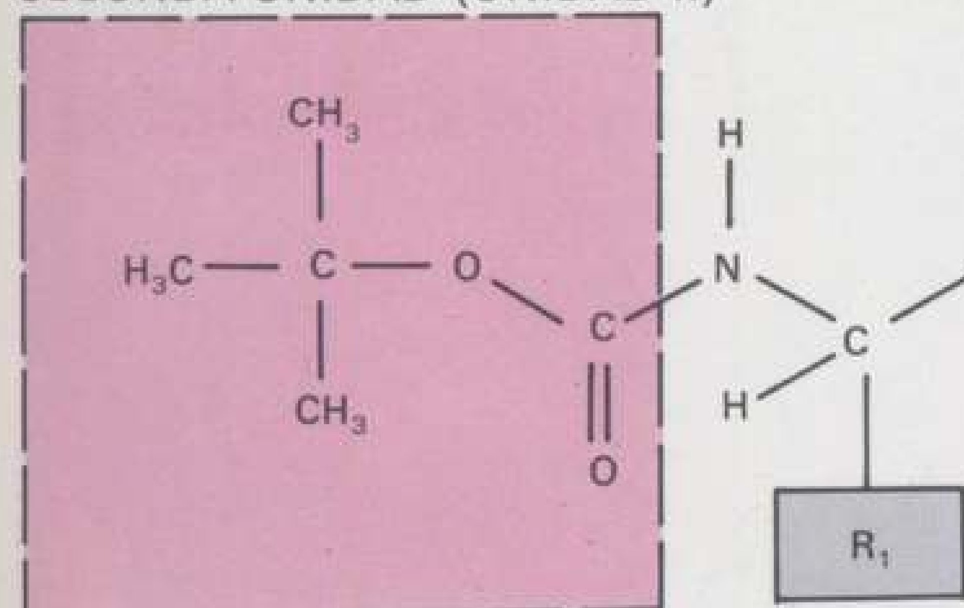
elongación de la cadena proteica tiene lugar en dos fases. En la primera fase, con ayuda de un factor proteico de elongación FE-T, la cadena ya sintetizada se une, en el sitio A, al nuevo aminoácido a incorporar, liberándose el ARNt que soportaba la cadena, con lo que queda vacío el sitio P.

PRIMERA UNIDAD (UNIDAD I)

CH_3, H_3C — C — O, CH_3, C=O, N–H, C–H, C=O

grupo protector butiloxicarbonílico

SEGUNDA UNIDAD (UNIDAD II)



H, N, C, H, R_1, C, O

éster

O — NO_2

↓ En el sitio P se encuentra la cadena ya sintetizada, unida por su último aminoácido a un ARN transferente; en el sitio A se encuentra el nuevo aminoácido a añadir, unido a su ARN transferente. La

En una segunda fase, con ayuda del factor de traslocación FE-G, la cadena, ya con un aminoácido más, salta del sitio A al P, con lo que el sitio A queda vacante y listo para recibir un nuevo aminoácido, repitiéndose el proceso.

H — N, C, H, R_1, C, O, N, H

Sintetizador

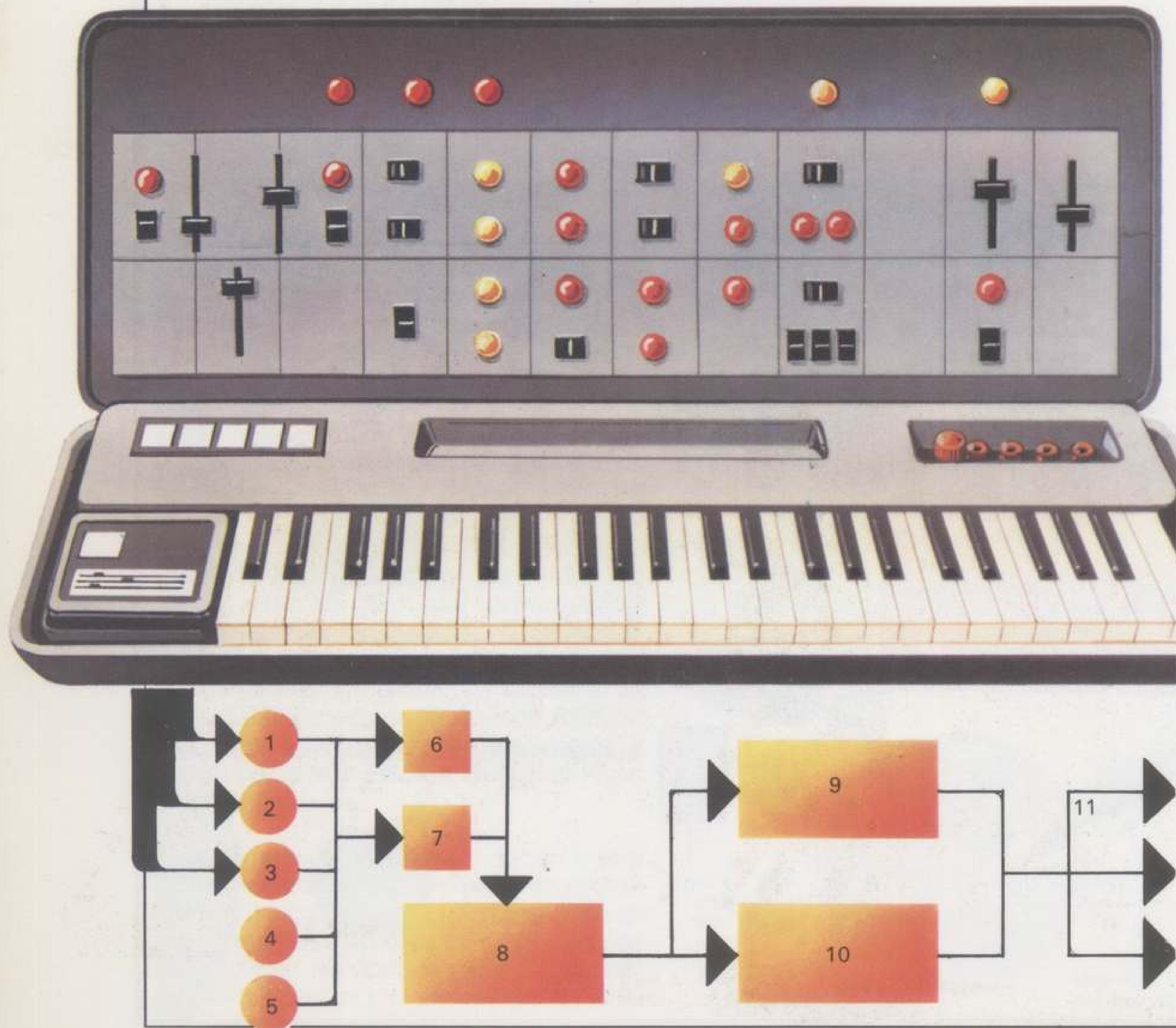
En el año 1917, el pianista y compositor Ferruccio Busoni escribió en su ópera *Sketch for a New Aesthetic of Music*: "¿En qué dirección evolucionará la composición musical? Hacia el sonido abstracto, hacia el uso de una técnica libre y de un material sonoro sin límites." Aunque los compositores han estado trabajando con osciladores (dispositivos que producen sonidos de distinta altura por medio de señales eléctricas) desde 1915, la predicción de Busoni no ha podido hacerse realidad hasta la invención del sintetizador.

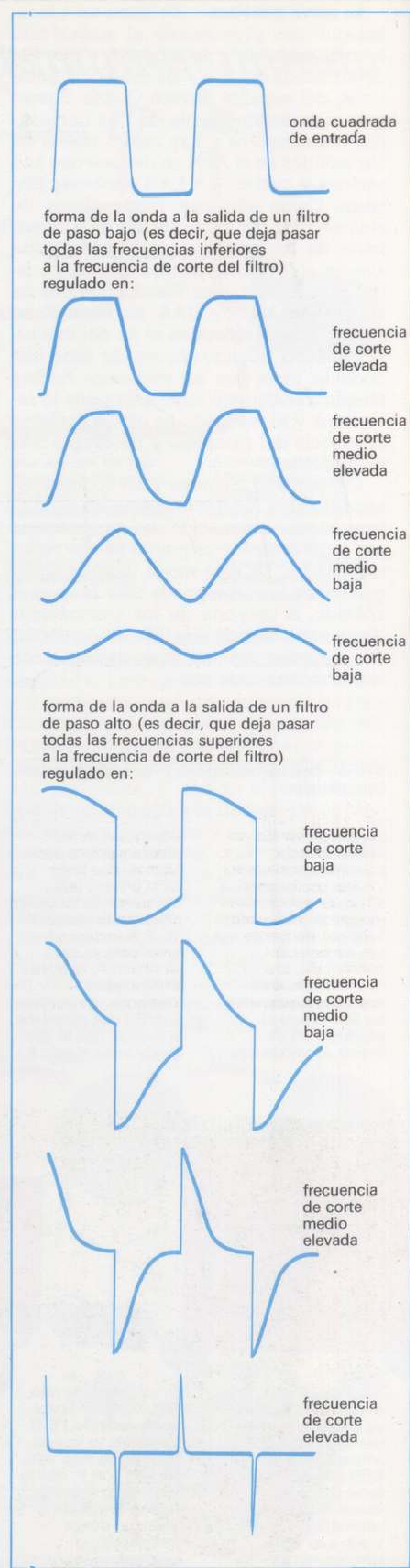
Los instrumentos musicales electrónicos ponen a disposición del compositor la esencia misma del sonido; con otras palabras, en un sintetizador, un oscilador produce señales eléctricas que, después, otros circuitos filtran, modulan en amplitud, prolongan con efectos de reverberación, etcétera.

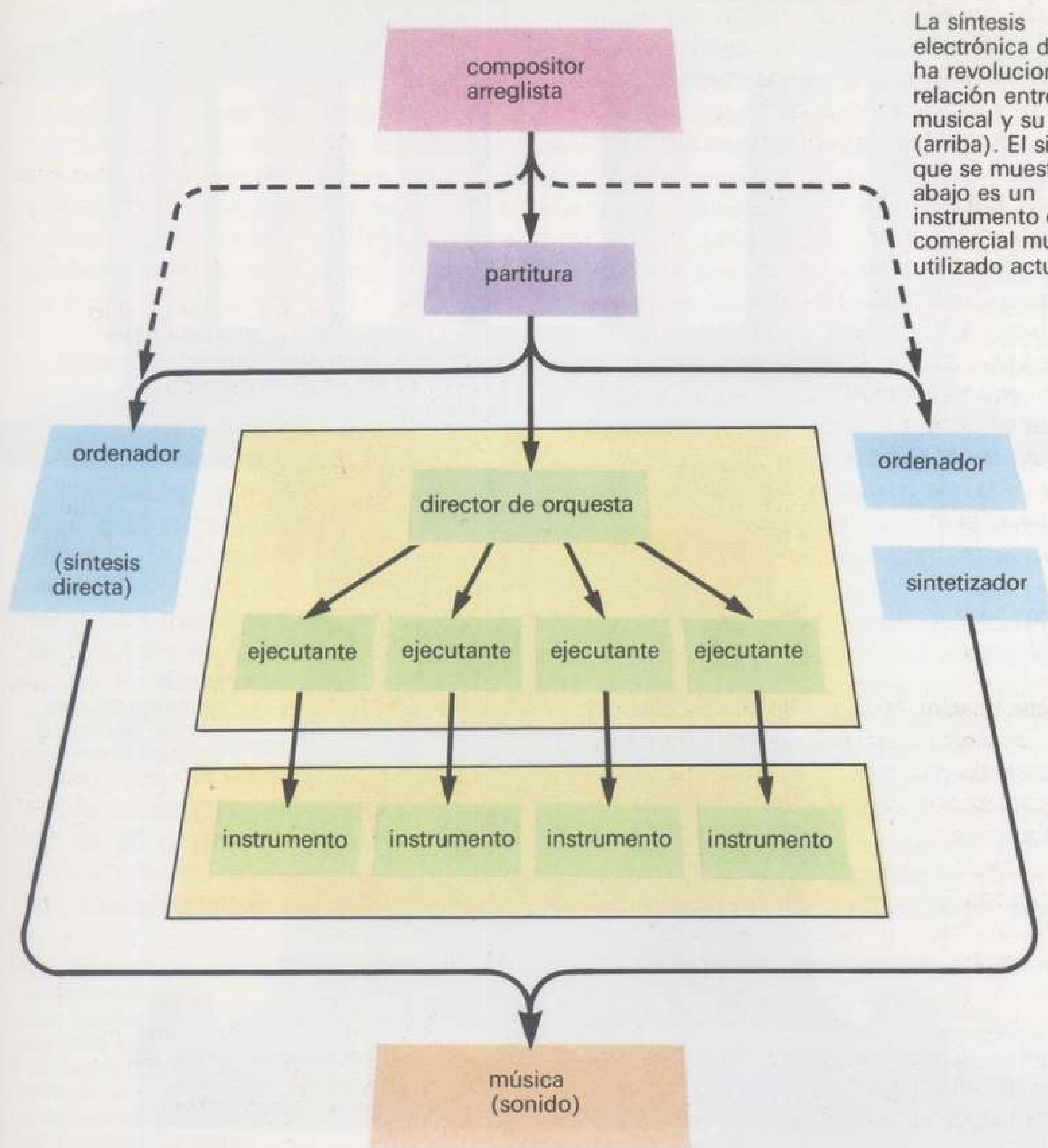
El sintetizador RCA Harry Olsen y Herbert Belar, de la RCA, concibieron el primer sintetizador como sistema para reproducir artificialmente la voz humana. Este aparato alcanzó inmediatamente el éxito, ya que podía producir una gama muy amplia de sonidos. El sintetizador RCA era, sin embargo, muy poco manejable respecto a los actuales, ya que ocupaba enteramente una habitación de dimensiones medias. Los compositores comunicaban sus instrucciones a la máquina mediante una cinta de papel perforado. Las cintas de papel actuaban sobre una serie de generadores, filtros, moduladores de frecuencia y otros circuitos capaces de producir y modelar el sonido, que funcionaban con una fluidez inimaginable hasta entonces.

Milton Babbit, Vladimir Ussachevsky y Otto Luening abrieron el camino para la composición musical con un sintetizador RCA en el Columbia Princeton Music Center de Nueva York, centro de composiciones de vanguardia. Este sintetizador, aunque era muy avanzado para aquella época, tenía el defecto fundamental de que, a partir del momento en que se programaban las instrucciones, el compositor ya no podía modificar ningún sonido durante la reproducción. Esto implicaba que, para introducir una modificación, el compositor tenía que volver a programar el pasaje en cuestión.

El sintetizador Moog En 1964, Robert Moog, un físico estadounidense con evidente interés por la música, inventó el primer sintetizador concebido como verdadero instrumento de trabajo para composiciones musicales. Los grandes avances conseguidos en la miniaturización de la electrónica, hacia finales de la década de los cincuenta, hicieron posible que Moog utilizara en su máquina componentes de muy reducidas dimensiones para construir generadores de sonido, filtros, generadores de envolvente (es decir, circuitos que producen variaciones del nivel diná-







La síntesis electrónica de sonidos ha revolucionado la relación entre idea musical y su ejecución (arriba). El sintetizador que se muestra abajo es un instrumento de tipo comercial muy utilizado actualmente.

En la página anterior se ha esquematizado un sintetizador Moog. El instrumento consta de tres osciladores (1, 2, 3) unidos a un generador de sonido (4) y a una fuente de alimentación exterior (5). Las señales que generan los osciladores pasan a través de generadores (6, 7), un filtro de frecuencia (8), dos etapas de amplificación (9, 10), y llegan a un sistema de altavoces (11). En la misma página se puede observar los efectos de un filtro de paso bajo y otro de paso alto sobre una onda cuadrada.

mico del sonido con respecto a su duración) y otros circuitos. Todos estos circuitos se caracterizaban por su construcción modular, que permitía agruparlos en una única unidad, y, como avance más importante, por la posibilidad de controlar el funcionamiento de todos ellos mediante tensiones eléctricas, en vez de hacerlo por sistemas mecánicos. Este nuevo sistema de conexiones se podía realizar mediante cables y conectores sencillos (tipo *jack*) que unían los módulos de control con los módulos generadores de sonido. Se podían utilizar también teclados, pedales y potenciómetros como sistemas de control de tensión: mientras una mano, por ejemplo, regulaba el tono en el teclado, la otra podía regular el volumen o el timbre actuando sobre el potenciómetro. El ejemplo más conocido de arreglo de música clásica realizado con un sintetizador Moog es *Switched on Bach*, donde Walter Carlos y Benjamin Folkman ejecutan fragmentos seleccionados de la obra musical de Juan Sebastián Bach.

Los modelos actuales Algunos músicos tienden a conectar los sintetizadores con ordenadores, de forma que se pueden memorizar determinadas instrucciones para reproducirlas posteriormente con sólo apretar una tecla.

El sintetizador ha sido el primer instrumento electrónico que se ha utilizado en un concierto (en general, se utilizaban sólo para grabaciones). Fueron muchos los músicos de *rock* que inmediatamente comenzaron a utilizar estos instrumentos y a servirse de la variada gama de sonidos y efectos especiales que éstos eran capaces de producir: entre los pioneros en este campo destacan Keith Emerson, del grupo Emerson Lake and Palmer, y el grupo Pink Floyd. Aunque muchos músicos y realizadores de anuncios publicitarios han utilizado sintetizadores para reproducir el sonido de una orquesta completa, de un grupo de instrumentos, o de un instrumento concreto, el sintetizador ha tenido una gran difusión por su capacidad de proporcionar a los compositores la materia prima de la música (las ondas sonoras) y la posibilidad de utilizarla de forma diferente a los instrumentos clásicos.

Véase **Instrumentos musicales eléctricos y electrónicos**



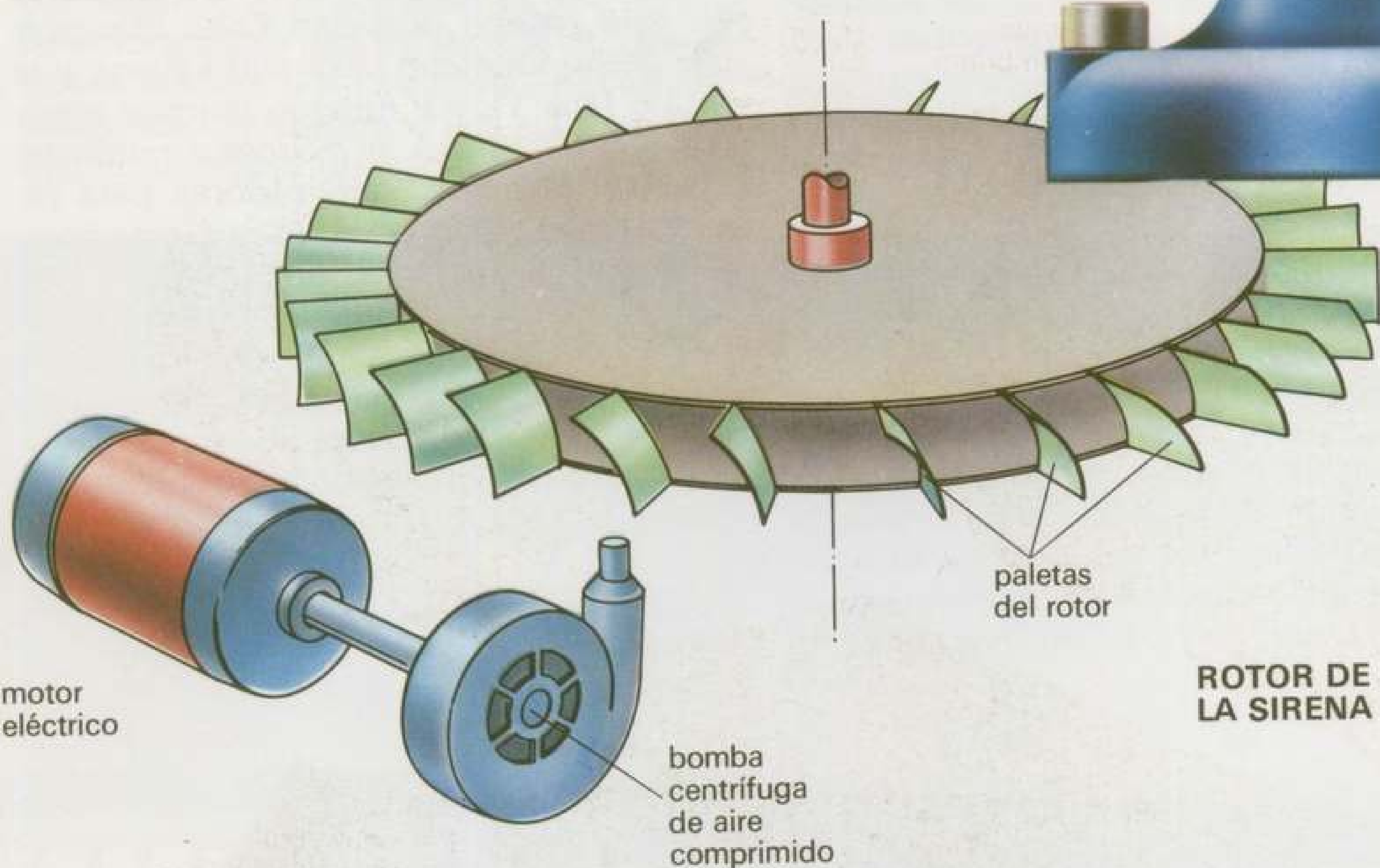
Sirena

Es muy probable que antes de desarrollarse el lenguaje humano, los hombres primitivos se sirvieran de sonidos inarticulados de distinta intensidad para comunicarse y coordinarse en determinadas actividades básicas como, por ejemplo, las batidas de caza. Del mismo modo que muchos animales, aquellos hombres emitirían fuertes gritos y alaridos para advertir del peligro y ahuyentar a los depredadores. El lenguaje moderno se ha desarrollado partiendo de esas formas rudimentarias de comunicación. Todavía hoy reaccionamos instintivamente ante determinados sonidos como si se trataran de señales urgentes de alarma. Un sonido penetrante produce una reacción más inmediata que las propias palabras, especialmente en situaciones confusas y de aglomeración. El aparato que más se utiliza para producir tal sonido es la sirena.

Historia El primer modelo acústico de sirena fue construido entre 1824 y 1827 por el físico e ingeniero francés Charles Cagniard de la Tour, que bautizó a su invento con el nombre de las ninfas marinas de la mitología griega que extraviaban a los navegantes atrayéndolos con



sirena
en forma de seta
(motor electrónico
en soporte inferior)



ROTOR DE
LA SIRENA







Las sirenas se construyen en versiones de pequeña, media y gran potencia. Las más modestas se accionan manualmente y se utilizan donde no se dispone de suficiente energía eléctrica, como a bordo de pequeñas embarcaciones, o bien en lugares donde se sospecha que ésta puede llegar a faltar. A la izquierda, sirenas de gran potencia para exteriores. Al lado, una sirena de pequeña potencia. A la derecha, sirena de un vehículo de policía.

sus cantos dulces y penetrantes. Al principio, la sirena, equipada con un velocímetro, fue utilizada como instrumento científico, ya que permitía conocer la frecuencia de vibración de los cuerpos sonoros. Sólo después de que los progresos tecnológicos permitieran aumentar el volumen de su sonido, la sirena comenzó a poder ser empleada como un instrumento de señalización.

Funcionamiento mecánico El principio mecánico fundamental de todas las sirenas se basa en el sonido creado por la interrupción intermitente de un fluido comprimido, generalmente el aire. Todo sonido se produce por el movimiento vibratorio de un cuerpo, que se transmite a través del aire u otro medio elástico. Si la vibración que resulta se encuentra dentro de la gama audible, actúa sobre el tímpano de forma que el cerebro interpreta el movimiento del aire como un sonido.

La primera sirena se servía de un disco plano con un determinado número de agujeros, situados uniformemente a lo largo de su perímetro, que estaba conectado a un chorro de aire comprimido, de forma que los taladros se alinearan con la boquilla del chorro. Una vez en rotación, los taladros del disco bloqueaban y liberaban intermitentemente el flujo del aire, dando lugar a una vibración sonora. La frecuencia del sonido producido era directamente proporcional a la velocidad de rotación del disco. Si, por ejemplo, el disco tenía diez taladros a lo largo de su perímetro y su velocidad de rotación era de veinte revoluciones por segundo, la frecuencia resultante era de diez veces veinte, es decir, doscientos ciclos por segundo. Variando la velocidad de rotación se modificaba con gran precisión la frecuencia del sonido, propiedad que hacía de la sirena un útil instrumento de medición.

A mediados del siglo XIX se perfeccionó la sirena de Cagniard introduciendo algunas modificaciones. En este modelo se sustituyó el disco plano primitivo por una pieza giratoria de forma acampanada, llamada *rotor.* Este tenía una serie de taladros distribuidos a lo largo de la superficie lateral y estaba montado en el interior de otra pieza fija, también de forma acampanada, llamada *estator*, que poseía unos taladros parecidos a los del rotor. El aire comprimido se introducía en el rotor en movimiento y únicamente podía salir cuando los taladros del rotor y del estator se encontraban alineados. Con este sistema, la sección de paso del aire por los taladros era mucho mayor, aumentaba la cantidad de aire en vibración y, por tanto, el volumen del sonido producido. Esto permitió utilizar la sirena como dispositivo de señalización.

Aplicaciones modernas Las sirenas modernas se accionan mediante aire comprimido o mediante un motor eléctrico.

En el primer caso, el aire introducido en el rotor actúa sobre un sistema de paletas, que le comunican un movimiento de rotación. En el segundo, el motor eléctrico acciona el rotor, que aspira el aire por la parte anterior de la sirena y lo expulsa a través de su superficie lateral.

El sistema de aire comprimido puede producir un sonido muy fuerte, pero necesita continuamente aire a alta velocidad, por lo que se suele emplear en instalaciones de sirenas fijas colocadas sobre edificios o sobre torres. Las sirenas eléctricas, en cambio, son portátiles y se suelen colocar en los vehículos de emergencia.

Véase **Sonido**



Las sirenas son emisores sonoros que producen una nota variable continua. Esta característica las diferencia de los dispositivos sonoros alternativos. La nota variable se obtiene fácilmente insuflando aire a presión sobre el rotor de una turbina dotada de gran inercia. El aire pone progresivamente en movimiento dicho rotor y saliendo por los orificios practicados en la tapa que lo cubre (en la página anterior, a la izquierda) produce el sonido; la variación de velocidad cambia su frecuencia. Cuando el disco alcanza su máxima velocidad y se obtiene la nota más aguda, se elimina la presión del aire y el rotor de la sirena sigue girando por inercia y emitiendo un sonido cuya nota va disminuyendo lentamente. Arriba, en la página anterior, la clásica sirena de aire comprimido para exteriores, accionada por un motor eléctrico. A la derecha, una moderna versión de sirena completamente electrónica. Está formada por un altavoz de membrana, alimentado por la corriente eléctrica alterna producida por un circuito; éste le proporciona una frecuencia variable continua, como sucede en las sirenas de accionamiento mecánico. Con aparatos ligeros, capaces de emisiones que obedecen a programas complejos, es posible obtener elevadas potencias.

Sismógrafo

Los *sismógrafos* son aparatos destinados a detectar y registrar el movimiento del suelo como consecuencia de un terremoto, de una explosión o de cualquier otro fenómeno que produzca una perturbación en la corteza terrestre.

Fueron los chinos los primeros que obtuvieron un registro fiel de los terremotos y los primeros que idearon un sistema para detectarlos. El antecesor de los actuales sismógrafos data del año 132 y fue construido por el gran matemático, astrónomo y geógrafo chino Chang-Heng. El sistema estaba contenido en una gran vasija de bronce, y consistía en un gran péndulo conectado a ocho brazos articulados cada uno de los cuales acababa en una especie de palanca que accionaba un mecanismo con la forma de la cabeza de un dragón situado en el exterior de la vasija. En el suelo, bajo cada cabeza y a modo de recipiente había un sapito con la boca abierta. El mecanismo se ponía en marcha al producirse la sacudidas sísmicas, de modo que el péndulo, al moverse, accionaba la palanca que abría la boca del dragón y hacía que cayera una bola a la boca del sapito que tenía debajo, indicando así la dirección en la que había tenido lugar el seismo.

Normalmente, los sismógrafos miden la respuesta de un péndulo de inercia al movimiento del suelo. Se llama *sismómetro* a la parte del sismógrafo que corresponde al péndulo.

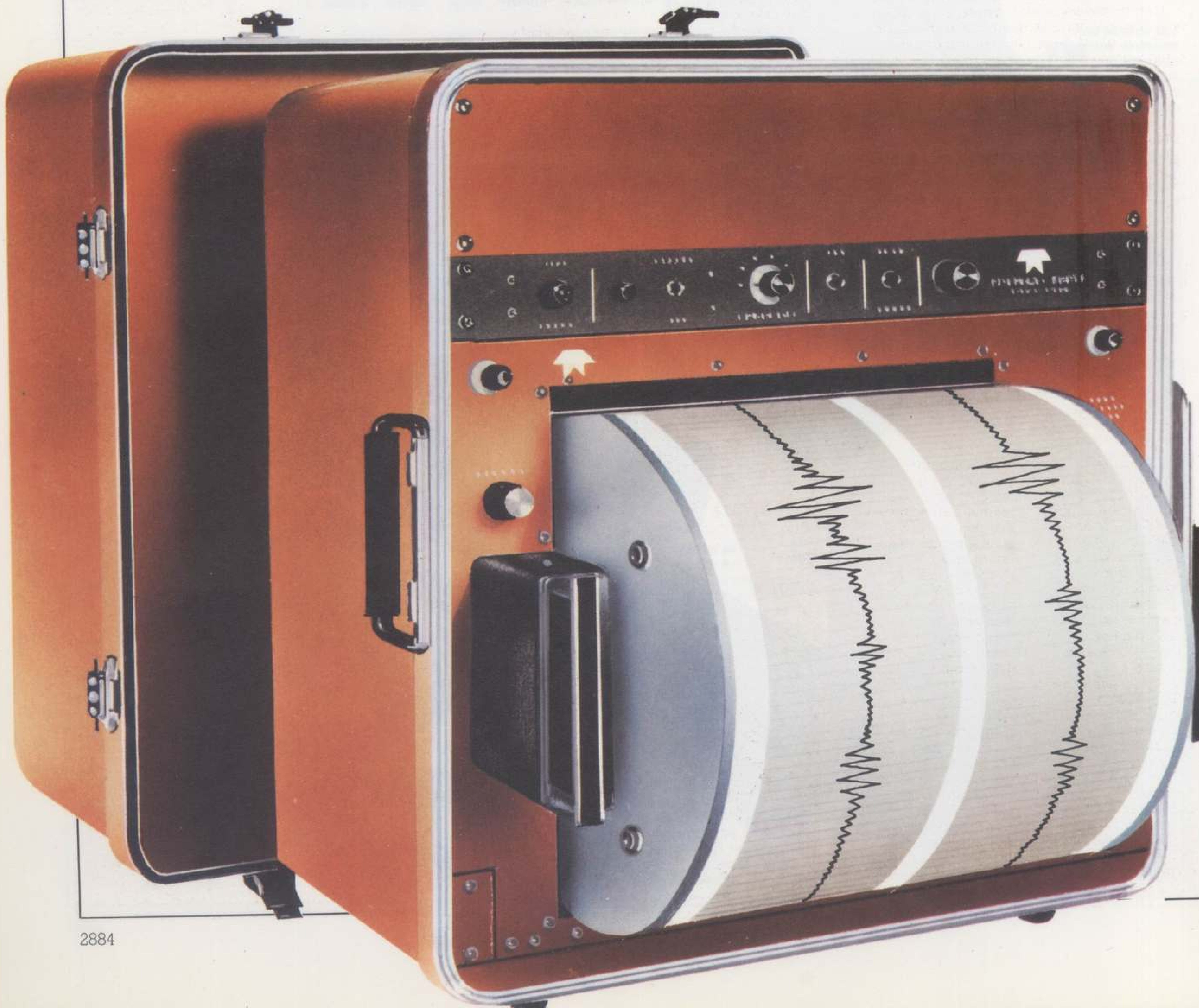
Los dos tipos básicos de sismómetro se componen de un péndulo vertical, cuya fuerza recuperadora es la fuerza elástica de un muelle, en uno de los casos, y la fuerza de gravedad, en el otro.

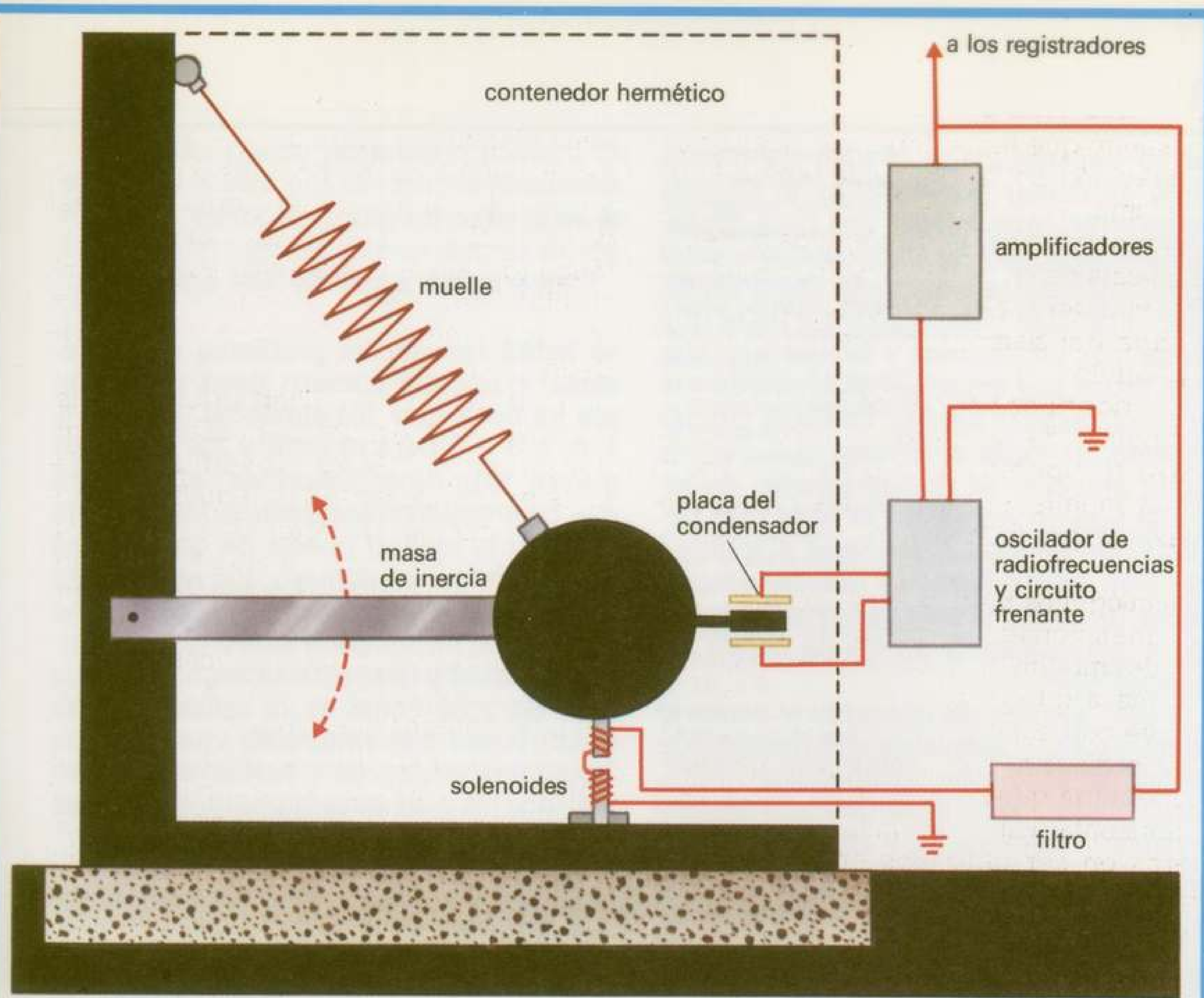
Sismógrafos mecánicos y ópticos Hemos mencionado los dos tipos más sencillos del movimiento de un péndulo: el de una masa que pende de un muelle y se mueve con movimiento vertical, y el péndulo ordinario, consistente en una masa suspendida que oscila con un movimiento horizontal. Estos sistemas fueron los primeros en ser utilizados en los aparatos destinados a registrar los seísmos, esto es, en los sismógrafos.

La utilización de un péndulo simple para el registro del movimiento vertical tiene el inconveniente de que responde a los movimientos en todas las direcciones, y que para aumentar su período natural de oscilación hay que aumentar mucho su longitud. Con el fin de evitar esto, J. Milne, sustituyó, en 1880, el péndulo vertical por otro ligeramente inclinado que gira alrededor de un eje.

Hacia 1900, E. Wiechert diseñó un sismógrafo de respuesta horizontal compuesto por un péndulo invertido, consistente en una pesada masa equilibrada sobre una cuchilla y sostenida en posición vertical por medio de un muelle. Mediante este aparato, se registran las dos componentes horizontales N-S y E-O del movimiento, pero con una sola masa.

En contraste con estos aparatos de grandes dimensiones, Wood y Anderson construyeron un sismógrafo de pequeñas dimensiones basado en la torsión de una fibra metálica que lleva adherida una pequeña masa y que gira dependiendo del movimiento horizontal del suelo. El registro se hace sobre papel fotográfico por medio de un rayo de luz reflejado en un pequeño espejo sujeto a la masa.





Esquema de un sismógrafo moderno. Una pesada masa está unida a un brazo rígido que le permite moverse verticalmente. La posición horizontal del brazo se mantiene mediante un muelle diagonal. Si se origina un seísmo de componente vertical, la esfera tiende a mantenerse quieta (por inercia), mientras que todo el soporte oscila verticalmente. El brazo que sale por el lado derecho y va al condensador hace que varíe su capacidad y da lugar a una variación en la frecuencia del circuito oscilante.

Aplicaciones de los sismógrafos Los sismógrafos se utilizan principalmente para registrar las ondas telúricas y establecer su origen, su amplitud y su tipo. Por ejemplo, se pueden percibir los microsismos (ondas pequeñísimas) provocados por las tempestades marinas. También es posible, a menudo, prever las erupciones volcánicas y vigilar los eventos de las explosiones nucleares. La prospección sísmica se sirve de las ondas provocadas por cargas explosivas para identificar las estructuras subterráneas de una determinada zona. Con este método fue descubierto, en Estados Unidos, en 1923, un gran yacimiento petrolífero subterráneo, y, desde entonces, la investigación sismográfica ha sido extensamente utilizada en la búsqueda de bolsas de petróleo, metano, agua u otros elementos del subsuelo.

Desde el final de la II Guerra Mundial, el número de estaciones sismográficas en el mundo ha aumentado constantemente. En 1970, había unas 800 estaciones de este tipo, cada una perteneciente a una de las redes nacionales de los distintos Estados. Las redes nacionales de Japón y de la Unión Soviética constan, cada una, de un centenar de estaciones aproximadamente. Muchas de estas estaciones están conectadas a escala internacional, con el fin de tener un control global de toda actividad sísmica que se produzca en el planeta.

En 1969, los astronautas de la misión Apolo 11 instalaron una serie de sismógrafos sobre la superficie de la Luna. Estos aparatos, que pueden ser controlados desde la Tierra, proporcionan valiosísimas informaciones sobre la estructura interna de nuestro satélite, sobre los movimientos de su corteza y sobre su composición, además de registrar también la caída de meteoritos sobre su superficie.

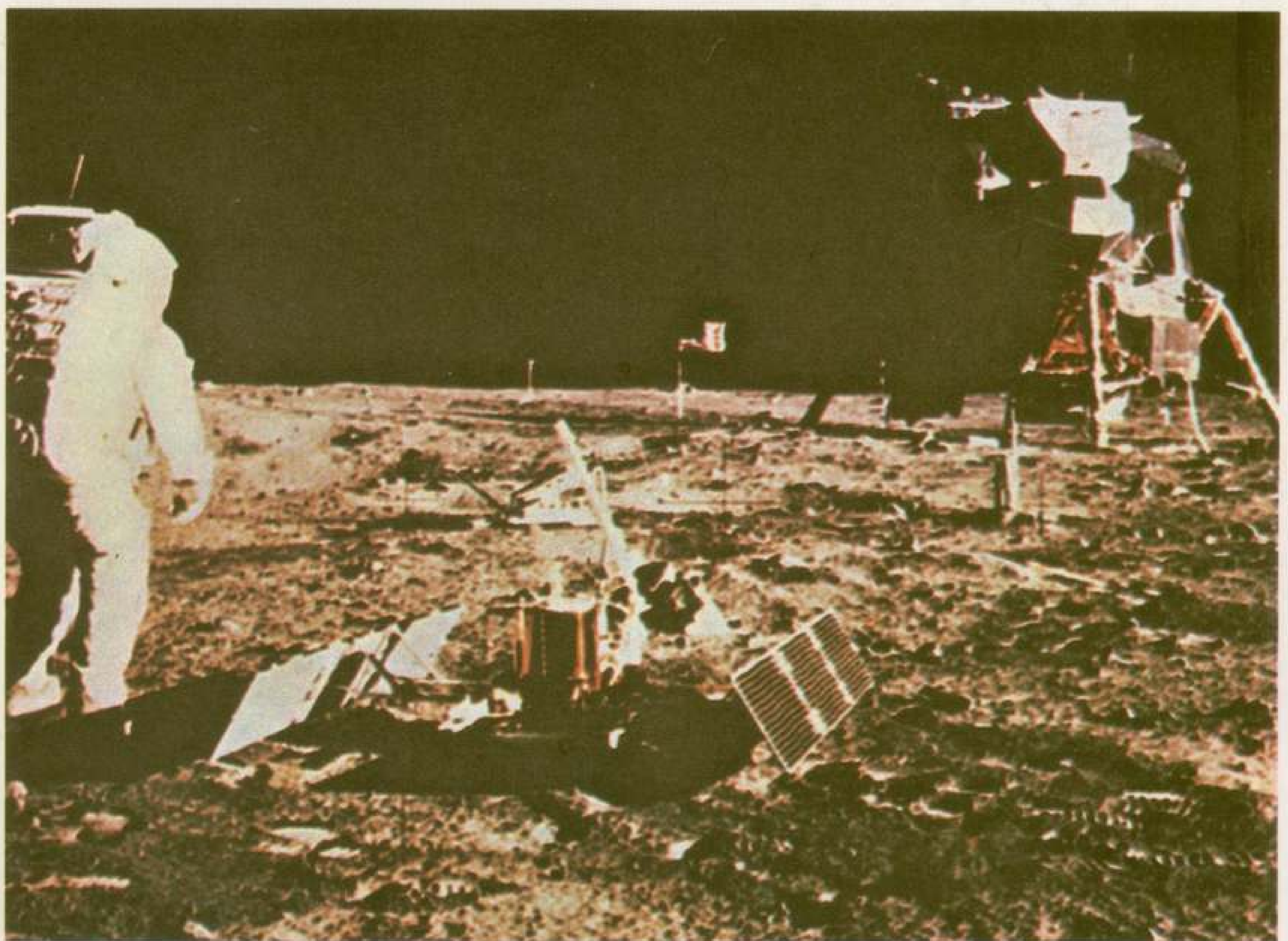
Véase **Terremoto**

Sismógrafos electromagnéticos A diferencia de los de péndulo, estos sismógrafos están formados básicamente por un sismómetro y un galvanómetro. El primero transforma el movimiento relativo de la masa y el soporte en una corriente eléctrica que pasa al galvanómetro, donde vuelve a transformarse en movimiento giratorio que se registra fotográficamente.

En 1932, el sismólogo H. Benioff ideó un sismógrafo que no utiliza el principio básico del péndulo, sino que mide directamente la deformación que se produce entre dos puntos, separados 20 m, al paso de las ondas elásticas.

Este sismógrafo consta de una barra de cuarzo fundido de 20 m de longitud que tiene un extremo fijo al suelo, y que lleva en el otro un sistema sensible a los cambios de distancia entre la barra y un pilar fijo. El sismómetro va conectado con un galvanómetro de período largo.

A la izquierda, un pequeño sismógrafo. Su funcionamiento responde al tipo que hemos estudiado aquí, y tiene la ventaja de que puede funcionar durante largos períodos de tiempo sin necesidad de recambios de papel o de tinta. Los sismógrafos miden con gran precisión los componentes horizontales o verticales de los movimientos de la corteza terrestre, por lo que su orientación es decisiva a la hora de ubicarlo. El modelo que aparece a la izquierda está destinado a medidas de seísmos naturales, no requiere grandes cuidados de mantenimiento y su consumo es mínimo, ya que de lo contrario su empleo en estaciones aisladas quedaría muy limitado. Los actuales sismógrafos distan mucho de los primeros modelos; la técnica ha modificado los sensores, haciéndolos mucho más sensibles y de respuesta más rápida. En la Luna han sido instalados varios sismógrafos de alta resolución para detectar todos los seísmos que tengan lugar en nuestro satélite. Todos los datos, así como los registros, son transmitidos a la Tierra mediante señales de radio digitalizadas.



Sistema de numeración

Pocos serán los que pongan en tela de juicio la opinión de que el de *número, natural* por supuesto, es uno de los conceptos fundamentales de la cultura humana e, incluso, serán muchos —más o menos pitagóricos, confesos o no— quienes piensen que es el *concepto* por antonomasia, ya que sirve de clave para *explicar* todo, o casi todo (la estructura de la materia, el orden del cosmos, la armonía musical, etc.). Sin entrar en discusiones filosóficas, merece la pena plantearse un problema de aspecto mucho más técnico: ¿Hubiera podido alcanzar su nivel actual la civilización si no se hubiese dispuesto de una técnica, método o *sistema* para *nombrar cualquier* número natural? Dado ello por hecho, ¿hubiera tenido algún interés práctico si no se pudiera, igualmente, representar simbólicamente, de forma sencilla, general y automática, tales números? Por último: ¿hubiera sido suficiente lo anterior si esa representación simbólica no hubiera permitido también *realizar* fácilmente las operaciones matemáticas que la mente humana ha sido capaz de idear abstractamente? Evidentemente, no.

A lo largo del tiempo la humanidad ha ido superando, en sucesivas etapas, tales problemas. Los pueblos primitivos aprendieron a distinguir y *nombrar* números pequeños; las grandes civilizaciones antiguas, a designar números muy grandes, incluso *cualquier* número; más tarde, a denotarlos simbólicamente; sólo en tiempos relativamente recientes, a hacerlo de una forma cómoda, sencilla, casi rutinaria y útil para realizar cálculos de forma algorítmica. Ese es el fin y la utilidad de los *sistemas de numeración*: conjuntos de símbolos y reglas que permiten nombrar y representar cualquier número.

Clases de sistemas Una vez que se comprendió que la sucesión de los naturales era indefinida, se vio la imposibilidad de dar nombres y símbolos distintos a todos ellos. Así apareció el más simple de los sistemas de numeración; consiste, en esencia, en ir agrupando los elementos en conjuntos de un número determinado de ellos. Es lo que se hace en el caso usual del sistema decimal; tienen nombre (diferente según los diversos idiomas) y símbolo los primeros nueve números; al cardinal del conjunto de diez unidades se le llama decena y se le denota usando el mismo símbolo que para el *uno* seguido de uno especial llamado *cero;* los nueve siguientes, se consideran como suma de la decena más números entre uno y nueve, etc.

El número de elementos que constituyen el agrupamiento se llama *base* del sistema. La más extendida es la *decena.* Múltiples razones avalan dicha elección; la histórica de que es el número de los dedos de las manos, la práctica de que tiene dos divisores cómodos, 2 y 5, etc. Pero hay sistemas que, a lo largo de la historia u hoy mismo, tienen iguales ventajas. Por ejemplo, el de base doce (que tiene más divisores que diez), y que, sin duda, debe tener su encanto, dado el afán de mucha gente en contar por docenas; el sistema sexagesimal, que cuenta con gran prosapia (es originario de Babilonia) y con la ventaja de que sesenta tiene todos los divisores de diez y doce juntos y en el que geómetras, astrónomos y relojeros y, tras ellos, *todos* nos empeñamos en medir entre otras cosas el tiempo. En estas últimas décadas, sin duda, el sistema que merece mayor atención es el más sencillo de todos: el binario; en efecto, la base más pequeña que puede adoptarse es el número dos. Con este sistema se cuenta, simplemente, diciendo: la unidad; la pareja; la pareja y una unidad; la pareja de pareja, etcétera.

Si sólo se trata de *distinguir* y *nombrar* los números, el simple descubrimiento de la idea de base y de agrupamiento reiterativo es suficiente. Si se quiere hacer referencia a números muy grandes y, además, a muchos de ellos —por ejemplo, cuando el hombre hubo de *numerar* las personas de una ciudad, los miembros de un ejército, las cabezas de ganado de un gran rebaño, etc.— es necesario representarlos simbólicamente; para ello se necesita un signo para cada número inferior a la base y un método para denotar los superiores. Babilonios, egipcios, griegos y romanos, por poner ejemplos de antecedentes de nuestra cultura matemática, tuvieron procedimientos diversos a base de usar letras o signos especiales y de colocar o separar los diversos resultados de los agrupamientos. El paso siguiente, es el llamado de los *sistemas posicionales*, consistente en escribir, para representar un número, una serie seguida de símbolos o cifras cuyo valor queda modificado por su posición. Así, en nuestro sistema decimal actual las cifras 3 y 7 tienen unos valores absolutos, representan a los números cardinales de sendos conjuntos con tres o siete elementos; sin embargo, cuando se escribe 37 todos entendemos que el 3 representa *tres decenas*, es decir, el número treinta, siendo ese su *valor relativo.*

Sistemas posicionales "Si r es un número natural mayor que la unidad puede probarse que cualquier número natural n puede escribirse de un modo único en la forma polinómica siguiente:

$$n = a_0 + a_1 r + a_2 r^2 + \cdots + a_k r^k$$

en la que $a_0, a_1, \dots a_k$ son números menores que r y $r, r^2, \dots r^k$ son las sucesivas potencias de r". Tan simple teorema aritmético se prueba por un método sencillo que, a la vez, da un algoritmo para calcular a_0, a_1, etc. En efecto: basta dividir primero n por r; el cociente, si es mayor o igual que n, volver a dividirlo y así sucesivamente; los restos son precisamente los números $a_0, a_1, \dots a_k$ (a_k primero y a_0 último).

El anterior resultado conduce al hecho práctico de que si se tienen r símbolos para los números *cero* (representativo del conjunto vacío), *unidad*, etc. hasta el r-1 y se adopta el convenio usual de escribir

$$n = a_k\, a_{k-1} \dots a_o$$

si es el caso de que

$$n = a_k r^k + a_{k-1} r^{k-1} + \cdots + a_1 r + a_0$$

se habrá resuelto el problema de representar cualquier número. Sean, por ejemplo en base *diez*, los símbolos 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 y 9 para el cero y los primeros nueve números. Entonces, el número n = *cuatromiltrescientosveintidós* (hágase el lector la idea, si puede, de que éste es el nombre de un número que no ha visto escrito nunca en base decimal; que dicho nombre no indica *nada* sobre dicha escritura decimal y que, sin embargo, tiene una idea clara de cómo es; la suficiente para dividirle por diez reiteradas veces) da los siguientes cocientes y restos al dividirle a él y a los cocientes sucesivos por diez

— cuatrocientos treinta y dos y dos
— cuarenta y tres y dos
— cuatro y tres

por lo tanto,

$$n = 2 + 2\ (\text{diez}) + 3\ (\text{diez})^2 + 4\ (\text{diez})^3$$

si, como es lógico, escribimos diez en base diez como 10 (y $10^2 = 100$, etc.) se tendrá:

$$n = 2 + 2 \times 10 + 3 \times 10^2 + 4 \times 10^3$$

o, también:

$$n = 4322$$

Naturalmente, puede ponerse:

$$4322 = 4.000 + 300 + 20 + 2$$

Cuando se usan otras bases, la cosa es análoga. Por ejemplo: ¿cómo se escriben los números en base dos? Así

0 = 0
1 = 1
2 = 10
3 = 11
4 = 100
.
.
.
.
32 = 100000

Obviamente, el uso de los símbolos 0, 1, 2, etc., es convencional. Igual podrían usarse A, B, C, etc. Por ejemplo, cuando se representan bases mayores que diez suelen usarse los símbolos α para diez y β para once, etc. Por otra parte, si hay riesgo de error se indica la base junto a la representación.

Por ejemplo, en base doce ¿que número representa?

$$n = 43\alpha 79\beta_{(12}$$

Es inmediato que siendo r doce

$$n = \beta + 9r + 7r^2 + \alpha r^3 + 3r^4 + 4r^5$$

si se acepta realizar el cálculo en base decimal

$$n = 11 + 9 \cdot 12 + 7 \cdot 12^2 + 10 \cdot 12^3 + 3 \cdot 12^4 + 4 \cdot 12^5 = 11 + 9 \times 12 + 7 \times 144 + 10 \times 1728 + 3 \times 20736 + 4 \times 248832$$

Es decir (en base diez)

$$n = 1075943.$$

También puede pasarse un número de una base a otra por divisiones sucesivas. Así, por ejemplo, ¿cómo se escribe en base dos el número que se denota en decimal como 103? Se tiene de inmediato:

```
103 |_2
 03  51 |_2
  ①  11  25 |_2
      ①  05  12 |_2
          ①   ⓪  6 |_2
                 ⓪  3 |_2
                    ①  ①
```

$103 = 1100111 = 1 \cdot 2^6 + 1 \cdot 2^5 + 1 \cdot 2^2 + $
$+ 1 \cdot 2 + 1 = 103$

Lo más interesante, con serlo mucho, de estos sistemas no es la solución que ofrecen, segura y fácil, para nombrar y representar simbólicamente cualquier número natural. Lo más práctico es que permiten realizar cómodamente las operaciones elementales de la aritmética, lo que para babilonios, egipcios, griegos, etc. era un arduo problema, sólo asequible a personas muy entrenadas y ello con gran gasto de tiempo y esfuerzo o, en otro caso, resoluble mediante ábacos. La forma en que cualquier escolar realiza sumas, restas, multiplicaciones, etc., y que se basa en el hecho de que la representación decimal (y quien dice decimal podría decir "de base *r*") de un número no es otra cosa que la descomposición polinómica según las potencias de diez de dicho número y que, en consecuencia, basta operar con cada término de la descomposición y, cuidar de recomponer. Por ejemplo, la clásica y elemental regla de la suma no hace sino sumar término a término las unidades, decenas, centenas, etc., cuidando luego de *llevarse* de una suma a la de orden superior las que superan a diez.



El sistema tradicional de numeración chino escribe los números verticalmente y usa nueve símbolos diferentes para los nueve primeros (del 1 al 9) y distintos signos especiales para las potencias de 10, en la forma que representa la ilustración. Si, por ejemplo, se trata de representar 273.495 se escriben sucesivamente, y de arriba a abajo, los once símbolos correspondientes a: 2; 100.000; 7; 10.000; 3; 1.000; 4; 100; 9; 10; y 5. Si una de las cifras (distinta de la que representa las unidades) fuera 1, se omite y escribe sólo la correspondiente potencia de 10. Conviene señalar que existen diferentes variantes de los signos anteriores (a través de los lugares y los siglos) y que, a veces, escriben los números, en vez de arriba a abajo, de izquierda a derecha (como en nuestro sistema decimal indo-árabe).

Historia y actualidad de los sistemas de numeración El sistema de numeración decimal, con los correspondientes símbolos o cifras y los algoritmos conocidos para procesar sumas, restas, etc., que es hoy de conocimiento y uso casi universales y que incorpora el cero, el doble valor de las cifras (absoluto y relativo), etc., procede, tras múltiples perfeccionamientos, del viejo sistema de numeración indio que, hacia el siglo IX de nuestra era es ya conocido y desarrollado por matemáticos musulmanes, como Al-Joarizmi, autor de un libro de aritmética —del que sólo se conserva una traducción latina, de título *De numero indorum*, realizada en España en el siglo XII— en el que se presenta el algoritmo decimal. En occidente se asimila dicho algoritmo a través de los intercambios culturales y comerciales en el Mediterráneo, en especial, Sicilia y España. Hacia el siglo XIII se va imponiendo el sistema de numeración decimal y el algoritmo correspondiente, tras dicha labor de difusión y por obra de matemáticos como Leonardo de Pisa (*ca.* 1175 - *ca.* 1240), llamado *Fibonacci*, autor de un libro que, en contra de lo que su nombre indica, *Liber Abaci*, trata del sistema hindo-árabe. Se sustituían así los viejos procedimientos que se asentaban en complicados métodos de anotaciones literales, como el romano u otros análogos, y de cálculos mediante ábacos.

Tras milenios, el método indio se imponía con su base decimal (usual y frecuente en otras culturas), su uso del sistema posicional y del cero, la adopción de símbolos especiales para las cifras y, en último pero principal lugar, de algoritmos para procesar numéricamente las operaciones básicas.

Los métodos de los griegos y los romanos —este último aún hoy usual en inscripciones, índices, etc.— y los más antiguos de babilonios (ya poseedores del concepto de cero), egipcios, etc. quedaban atrás. Mucho más los de los pueblos primitivos que, en muchos casos, se limitan a conocer el nombre de pocos números o a utilizar un sistema repetitivo simple.

Durante los últimos siglos la generalización del sistema de base diez y la identificación que todo el mundo —con la excepción de los matemáticos profesionales— hace entre un número cualquiera y su representación decimal, convirtió en puro academicismo cualquier consideración sobre sistemas de numeración. Es interesante señalar cómo en un texto básico que los matemáticos españoles, puros y aplicados, utilizaban en los años 40 y 50 del presente siglo su autor, un eminente profesor, se disculpaba de tratar el tema, con consideraciones más o menos teóricas, arguyendo que no tenía "interés para la vida práctica". Hoy, sin embargo, el interés ha renacido por sus aplicaciones informáticas. Resulta obvio que, siendo como es, la elección de la base diez un puro convenio —con raíces antropológicas o culturales, pero convenio al fin— no tenía por qué ser la apropiada para almacenar números en un sistema automático. A este respecto, es lógico que el sistema más natural sea el binario, por ser más simple y seguro usar dispositivos físicos con sólo dos estados (pasar corriente o no, estar cargados o no, permanecer en una posición u otra, etc.). Los ordenadores almacenan la información en dispositivos de dicha naturaleza y, por ello, para su funcionamiento interno el sistema idóneo de numeración es el binario. También usan los de base 8 y 16 (es decir: 2^3 y 2^4). Tal consideración que, por otra parte, no tiene tampoco mayor interés para el usuario de ordenadores, que utiliza lenguajes informáticos de alto nivel, ha renovado el interés por los sistemas de numeración, el álgebra de Boole, etcétera.

Véase **Algebra; Algebra de Boole; Algoritmo; Aritmética; Números**

Sistema de unidades

Todo lo que vemos, oímos y tocamos puede ser medido. Esto significa que se pueden hacer comparaciones con una unidad. Las unidades nos permiten medir las distancias entre dos ciudades, la superficie de nuestra casa, el peso que tenemos, el tiempo transcurrido y, por supuesto, los gastos y los ingresos necesarios para vivir. Las cifras o los números nos abruman constantemente y todos ellos son medidas relativas a ciertas unidades. La distancia se mide en metros o en kilómetros. La superficie en metros cuadrados o hectáreas, el tiempo en horas, minutos o segundos, y los gastos e ingresos en pesetas, dólares o rublos. Las unidades están presentes en nuestra vida cotidiana permanentemente. Sin embargo existen demasiadas unidades para medir una misma magnitud. Tomemos por ejemplo la distancia; puede ser medida en metros, en kilómetros, en pies, en yardas, en pulgadas, en millas, en leguas y hasta en años-luz. Se denomina *sistema de unidades* un conjunto de las mismas, referentes a diversas magnitudes, que guardan entre sí relaciones que facilitan las operaciones de medir y de aplicar cálculos con las medidas. Por ejemplo: las longitudes se miden en metros y las áreas en metros cuadrados; metros y metros cuadrados son unidades de un sistema.

Algunas unidades son muy antiguas y en su procedencia no están de acuerdo los historiadores. Por ejemplo, "el pie" como unidad; unos opinan que es la longitud que tenía el pie de Carlomagno, que era hombre fuerte y alto; pero otros dicen que es la distancia entre 36 granos de cebada colocados en fila.

Hoy en día todas las magnitudes que se utilizan se basan en leyes físicas, que son a la vez invariables y reproducibles en cualquier lugar de la Tierra o incluso del Universo.

Cuando una magnitud se puede medir significa que es posible definir la igualdad y la suma de dos de su misma especie y entonces se llama magnitud medible. Por ejemplo, la distancia, el peso, el tiempo, la velocidad, la temperatura, la corriente eléctrica, el sonido, etc. Para todo el estudio de la Física se necesitan magnitudes medibles. La medida de una magnitud física es una correspondencia que asocia a dicha magnitud un número cuando se ha tomado otra de la misma clase como unidad.

Para medir magnitudes de forma cómoda se necesitan sistemas de unidades y que los números de las medidas puedan usarse en las fórmulas científicas.

Cualquier ley física puede expresarse de la forma:

$$X = A^{\alpha} \times B^{\beta} \times C^{\gamma}$$

en donde X, A, B, C son magnitudes físicas medibles y α, β, γ números reales. Tomando como unidad de X, U_x de A, U_a de B, U_b de C U_c etc., se tendrá

$$X = X_m\, U_x \quad A = A_m\, U_a \quad B = B_m\, U_b \quad C = C_m\, U_c$$

Las unidades escogidas pueden ser definidas directamente sin depender de otras magnitudes y entonces se llaman magnitudes fundamentales, o bien estar definidas a partir de otras expresiones en las que aparecen las fundamentales, y entonces se denominan unidades derivadas.

Los valores de X_m A_m B_m C_m etc. son números reales que representan las medidas de las magnitudes correspondientes, y así resultará:

$$X_m\, U_x = (A_m \times U_a)^{\alpha} \times (B_m \times U_b)^{\beta} \times (C_m \times U_c)^{\gamma}$$

si se suponen ya fijadas las unidades U_a U_b U_c y se elige U_x de modo que

$$U_x = U_a^{\alpha} \times U_b^{\beta} \times U_c^{\gamma}$$

resultará que:

$$X_m = A_m^{\alpha} \times B_m^{\beta} \times C_m^{\gamma}$$

y la relación entre las medidas sea exactamente la misma que la de la ley física anterior. Se dice entonces que el sistema de unidades elegido es *acorde* o *coherente*.

Cualquier sistema de unidades debe cumplir este requisito.

La denominada ecuación dimensional de una magnitud es la que se obtiene al expresar la unidad en que se mide dicha magnitud en función de las unidades fundamentales. Se hace a partir de la ecuación de definición por sucesivas sustituciones de las unidades que intervienen hasta llegar a las fundamentales.

El criterio para establecer un sistema de unidades es el de seleccionar unas magnitudes sencillas o muy intuitivas cuyas unidades previamente definidas se convierten en fundamentales, y, a partir de ellas, por las leyes físicas experimentales o por definición directa, se definen las magnitudes derivadas.

En el mundo de la Mecánica se pueden adoptar, básicamente, dos opciones para definir sistemas de unidades. Estas son: tomar como magnitudes fundamentales la "longitud", la "masa" y el "tiempo", o bien la "longitud", la "fuerza" y el "tiempo".

A partir de estas se pueden definir las derivadas, como "presión", "densidad", "energía", "velocidad" "aceleración" etc.

Cuando aparecen los fenómenos eléctricos y magnéticos se pueden mantener

MULTIPLOS Y SUBMULTIPLOS

Prefijo	Símbolo	Factor multiplicador
tera	T	10^{12}
giga	G	10^{9}
mega	M	10^{6}
kilo	k	10^{3}
hecto	h	10^{2}
deca	da	10^{1}
deci	d	10^{-1}
centi	c	10^{-2}
mili	m	10^{-3}
micro	µ	10^{-6}
nano	n	10^{-9}
pico	p	10^{-12}
femto	f	10^{-15}
atto	a	10^{-18}

RELACIONES ENTRE UNIDADES DE DIFERENTES SISTEMAS

Longitud
1 m = 3,281 pie
1 m = 39,4 pulgada
1 m = $6{,}21 \cdot 10^{-4}$ milla
1 m = 1,094 yarda
1 m = $3{,}24 \cdot 10^{-17}$ parsec
1 m = $1{,}057 \cdot 10^{-16}$ año-luz

Superficie
1 m^2 = $2{,}47 \cdot 10^{-4}$ acre
1 m^2 = 10^{-4} hectárea

Volumen
1 m^3 = 10^3 l
1 m^3 = 264 galón
1 m^3 = 2.112 pinta

Masa
1 kg = 0,102 utm
1 kg = 2,2 libra
1 kg = 35,3 onza

Fuerza
1 N = 10^5 dina
1 N = 0,102 kilopondio

Velocidad
1 m/s = 3,6 km/h
1 m/s = 3,28 pie/s
1 m/s = 2,24 milla/h
1 m/s = 1,94 nudo

Presión. Tensión mecánica
1 Pa = 1 N/m^2
1 Pa = $9{,}8 \cdot 10^{-6}$ atmósfera
1 Pa = $2{,}95 \cdot 10^{-4}$ pulgada de mercurio
1 Pa = $1{,}45 \cdot 10^{-4}$ psi
1 Pa = 10^{-5} bar (dina/cm^2)

Energía. Trabajo. Calor
1 J = 0,24 caloría
1 J = 10^7 ergio
1 J = $9{,}486 \cdot 10^{-4}$ Btu
1 J = $2{,}78 \cdot 10^{-7}$ kWh
1 J = $2{,}39 \cdot 10^{-7}$ termia
1 J = $1{,}602 \cdot 10^{-19}$ electrón-voltio

Potencia
1 W = 1 J/s
1 W = 0,102 kgm/s
1 W = $1{,}34 \cdot 10^{3}$ caballo de vapor

Viscosidad
1 Pa·s = 10 poise

Carga eléctrica
1 C = $3 \cdot 10^9$ ues (franklin)

Inducción magnética
1 T = 1 Wb/m^2
1 T = 10^4 gauss

Flujo magnético
1 Wb = 10^8 maxwell (línea)

Intensidad de campo magnético
1 A-v/m = $1{,}26 \cdot 10^{-2}$ oersted

Fuerza magnetomotriz
1 A-v = 1,26 gilbert

Claves
A-v amperivuelta

UNIDADES DE LAS MAGNITUDES FUNDAMENTALES EN VARIOS SISTEMAS

SISTEMA	Longitud	Masa	Tiempo	Fuerza	Energía Calor/Trabajo	Potencia
CEGESIMAL CGS	centímetro cm	gramo (masa) g	segundo s	dina dy	ergio erg	ergio por segundo erg/s
Giorgi MKS/SI	metro m	kilogramo (masa) kg	segundo s	newton N	julio J	vatio W
Técnico o **Terrestre**	metro m	unidad técnica de masa utm	segundo s	kilopondio kp	kilopondímetro kpm	caballo de vapor CV
Inglés	pie ft	libra (masa) lb	segundo s	libra (fuerza) lb	pie libra ft lb	pie libra por segundo ft lb/s

UNIDADES FUNDAMENTALES DEL SISTEMA INTERNACIONAL

Magnitud	Símbolo	Unidad
Unidades fundamentales		
Longitud	m	metro
Masa	kg	kilogramo
Tiempo	s	segundo
Intensidad de corriente	A	amperio
Temperatura	K	kelvin
Intensidad luminosa	cd	candela
Cantidad de materia	mol	mol
Unidades suplementarias		
Angulo plano	rad	radián
Angulo sólido	sr	estereorradián
Unidades derivadas		
Superficie	m^2	metro cuadrado
Volumen	m^3	metro cúbico
Frecuencia	Hz	hertz
Densidad	kg/m^3	kilogramo por metro cúbico
Velocidad	m/s	metro por segundo
Velocidad angular	rad/s	radián por segundo
Aceleración	m/s^2	metro por segundo al cuadrado
Aceleración angular	rad/s^2	radián por segundo al cuadrado
Fuerza	N	newton
Presión (tensión mecánica)	Pa	pascal
Viscosidad cinemática	m^2/s	metro cuadrado por segundo
Viscosidad dinámica	Pa·s	pascal segundo
Trabajo	J	julio
Energía	J	julio

Magnitud	Símbolo	Unidad
Cantidad de calor	J	julio
Potencia	W	vatio
Cantidad de electricidad	C	culombio
Tensión eléctrica	V	voltio
Diferencia de potencial	V	voltio
Fuerza electromotriz	V	voltio
Intensidad de campo eléctrico	V/m	voltio por metro
Resistencia eléctrica	Ω	ohmio
Conductancia eléctrica	S	siemens
Capacidad eléctrica	F	faradio
Flujo de inducción magnética	Wb	weber
Inductancia	H	henrio
Inducción magnética	T	tesla
Intensidad de campo magnético	A/m	amperio por metro
Fuerza magnetomotriz	A	amperio
Flujo luminoso	lm	lumen
Luminancia	cd/m^2	candela por metro cuadrado
Iluminancia	lx	lux
Número de ondas	1/m	una onda por metro
Entropía	J/K	julio por kelvin
Calor másico	J/(kg·K)	julio por kilogramo kelvin
Conductividad térmica	W/(m·K)	vatio por metro kelvin
Intensidad energética	W/sr	vatio por estereorradián
Actividad de una fuente radiactiva	1/s	una desintegración por segundo

Algunas equivalencias entre unidades del SI

$Pa = N/m^2$ $J = N \cdot m$ $W = J/s$ $C = A \cdot s$ $V = W/A$
$\Omega = V/A$ $S = A/V$ $F = C/V$ $Wb = V \cdot s$ $H = Wb/A$
$T = Wb/m^2$ $lm = cd \cdot sr$ $lx = 1 m/m^2$

todavía como magnitudes fundamentales las de la mecánica; sin embargo, conviene introducir una cuarta magnitud fundamental, que puede ser o la "carga eléctrica" o la "intensidad de corriente".

Análogamente, al estudiar los fenómenos térmicos se introduce una magnitud fundamental, que es la "temperatura", como quinta unidad fundamental.

El estudio de las reacciones químicas entre diferentes sustancias hace necesario definir otra magnitud fundamental, que es la "cantidad de materia".

Los fenómenos luminosos dan lugar a que se defina una magnitud fundamental, la intensidad luminosa, que es la séptima magnitud fundamental.

Con estas siete magnitudes fundamentales pueden expresarse todas las magnitudes físico-químicas existentes actualmente en la naturaleza.

Es evidente que otra civilización podría haber escogido unas magnitudes diferentes como fundamentales, pero afortunadamente ha habido acuerdo en la comunidad científica de la Tierra y se han tomado y utilizado las mismas unidades desde la XI Conferencia General de Pesas y Medidas celebrada en París en 1960, en donde resolvieron adoptar el denominado Sistema Internacional (SI), compuesto por seis unidades fundamentales, dos unidades suplementarias y veintisiete derivadas. Posteriormente en la XIV C.G.P.M. en 1971 se introdujo la séptima unidad fundamental.

El camino recorrido ha sido muy largo, y con numerosas discusiones que aún continúan, para definir nuevas unidades derivadas o modificar definiciones de otras existentes, desde que la primera reunión de carácter internacional se celebró en París en 1889.

Aunque todavía existen publicaciones que usan sistemas diferentes del SI, aquí únicamente se hará referencia a éste, si bien en las tablas de relaciones de unidades se utilizarán algunas unidades de otros sistemas.

Véase **Física; Teoría de semejanza física**

Sistema solar

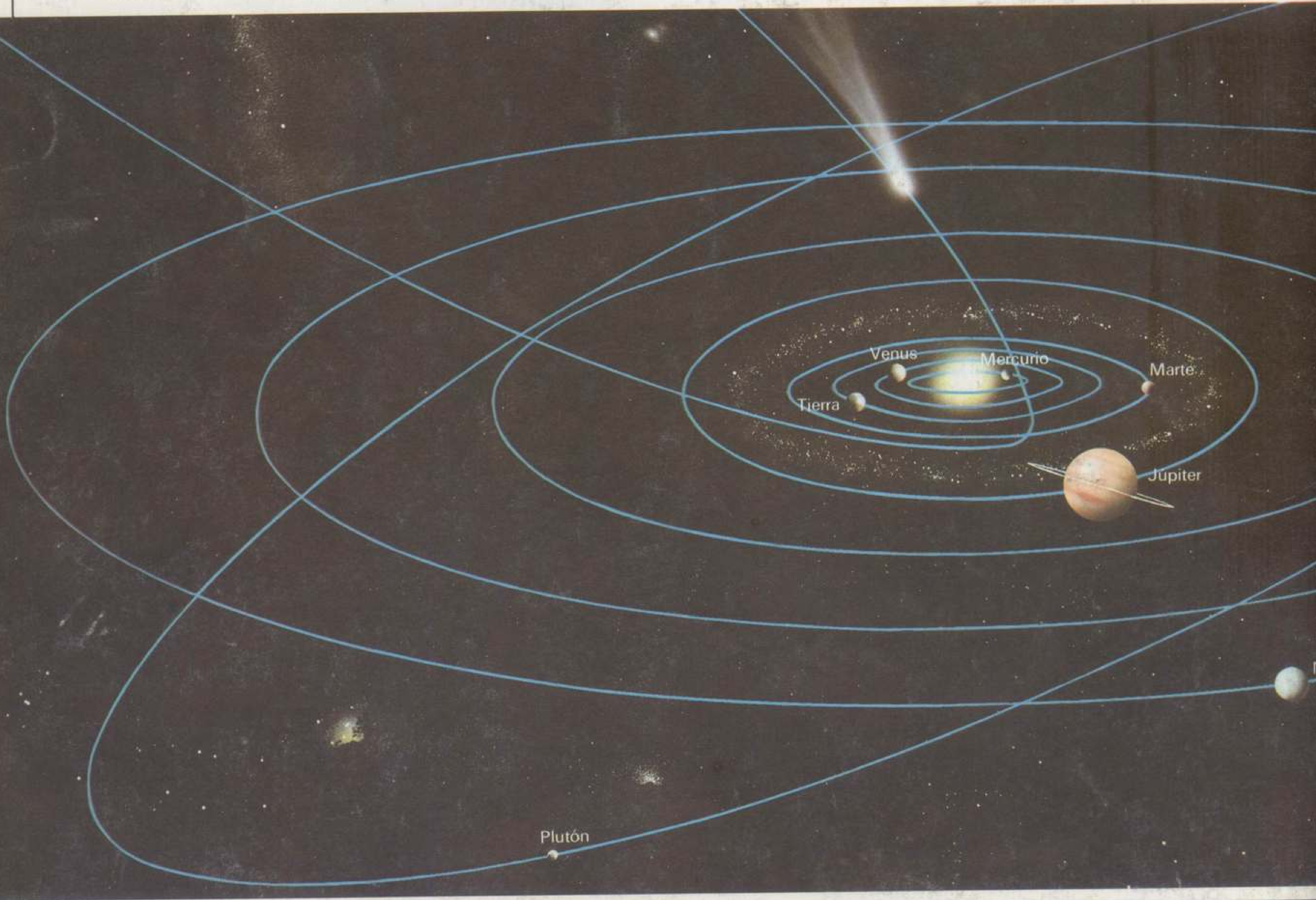
Durante siglos, los astrónomos sostuvieron la teoría de que la Tierra constituía el centro del Universo. La nueva teoría heliocéntrica, que establecía que la Tierra era uno más de los varios cuerpos que giraban en torno al Sol, desplazó definitivamente a las viejas creencias geocéntricas. Se reconoció, además, que el Sol, situado en un pequeño rincón de la Galaxia, conocido por el nombre de Sistema solar, era sólo una de entre los miles de millones de estrellas del Universo.

El nacimiento del Sol El Sol es el centro de nuestro Sistema solar. Sin él, la vida nunca habría existido. Formado a partir del polvo cósmico y de enormes nubes de gas interestelar, hace casi 4.600 millones de años, el Sol es una estrella en el estado medio de su evolución y está situada en la secuencia principal del diagrama clase espectral/luminosidad.

La mayor parte de las radiaciones emitidas por el Sol está constituida por radiaciones electromagnéticas de fotones, que abarcan la totalidad del espectro, desde los rayos gamma y rayos X, hasta la luz visible, el ultravioleta y las radiaciones de radio de gran amplitud de onda. El origen de tales radiaciones se encuentra, principalmente, en los niveles medios del Sol, aunque hay algunas que proceden del pesado núcleo central y otras que lo hacen de la superficie (*fotosfera*), donde la temperatura, relativamente baja en comparación con la del núcleo central del astro (20.000.000 K), alcanza los 5.800 K.

La atmósfera solar Cuando la radiación sobrepasa la fotosfera, entra en una zona conocida por el nombre de *cromosfera*, un estrato de gas transparente que se extiende a lo largo de 2.000-5.000 km por encima de la superficie aparente del Sol. Más allá de los 5.000 km, es decir, una vez superado el límite de la cromosfera, tiene lugar un hecho sorprendente: la temperatura asciende hasta 1.000.000 K, manteniéndose a este nivel a lo largo de una amplia zona de atmósfera gaseosa muy rarificada, llamada *corona*, que constituye el estrato más externo de la atmósfera solar y que se extiende cientos de miles de km hasta difuminarse en el frío espacio exterior. Una de las teorías que intentan explicar el elevado aumento de la temperatura en la corona se basa en la hipótesis de que tanto las erupciones como la agitación térmica superficial dan lugar a un masivo desprendimiento de calor que, propagándose a la velocidad del sonido, alcanza aquellas zonas atmosféricas más alejadas, donde se acumula. Dicha agitación térmica es responsable de las protuberancias superficiales, así como de las llamadas *manchas solares*, zonas oscuras que se aprecian en su superficie, donde la temperatura es más baja (unos 4.000 K). Las tormentas solares pueden llegar a influir de tal modo en los niveles de radiación que pueden causar interferencias de radio e, incluso, hacer saltar interruptores y determinados

Abajo, un mapa del Sistema solar. No se respetan las proporciones con el objeto de permitir mostrarlo en su totalidad. Las dimensiones del Sol, así como las de los planetas, han sido muy exageradas, en comparación con las de las órbitas. De estas últimas, sólo la orbita de Plutón ha sido trazada con una cierta inclinación, exagerada, con respecto al plano orbital medio. Como ejemplo ilustrativo, se ha trazado la órbita de un cometa. Esta muestra la característica típica de las órbitas cometarias: fuerte inclinación respecto al plano orbital medio del Sistema solar, llegando a formar, en algunos casos, ángulos de 90°. La órbita del dibujo corresponde a la del cometa Halley, que la recorre en sentido retrógrado, es decir, horario. La mayor parte del espacio interplanetario está "dramáticamente" vacía. A partir de una nebulosa como la de la Laguna (fotografía de la derecha), en la constelación de Sagitario, se formó el Sistema solar. La fotografía pone en evidencia la distribución difuminada del hidrógeno, que constituye la mayor parte de la nebulosa.





circuitos eléctricos instalados en la superficie terrestre.

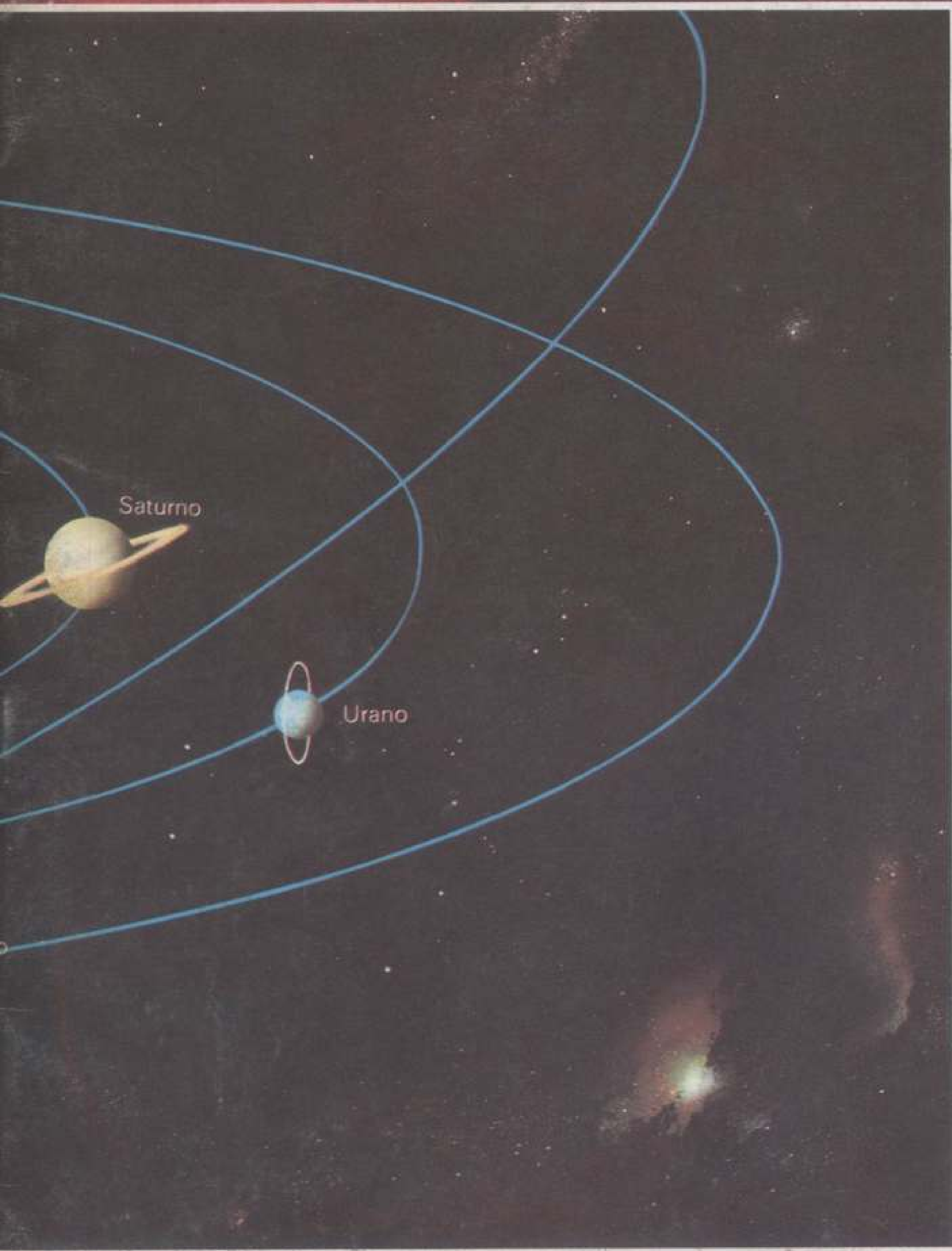
El Sol y los planetas Nuestro Sol es una estrella más entre los miles de millones de estrellas del Universo. Pero ¿existen otras estrellas con sistemas planetarios similares al nuestro? ¿De donde proceden los planetas? ¿Qué relación puede tener la composición rocosa de la Tierra con el hidrógeno y el helio que se queman en el núcleo solar?

Ante estos interrogantes se han desarrollado numerosas teorías. En una de ellas, se sugiere la posibilidad de que el Sol, en un determinado momento de su evolución, haya colisionado con otra estrella similar, produciéndose, como consecuencia del choque, una fragmentación parcial de la materia, a partir de la cual, se habrían formado los planetas. Otra teoría propugna que el Sol, en un estado primario de su formación, expulsaba periódicamente parte de su masa. Sin embargo, ninguna de estas teorías resulta aceptable, fundamentalmente porque las probabilidades matemáticas y "teóricas" de que estos fenómenos se hayan producido son realmente mínimas. Más probable es, en cambio, que el Sol y los planetas tengan orígenes totalmente independientes, aunque análogos.

Teoría de la condensación El Sol, como ya hemos dicho anteriormente, se formó, muy probablemente, a partir de una acumulación inicial de gas y partículas atómicas. El diámetro de esta nube de gases pudo haber sido de unas 30.000 unidades astronómicas, y su masa, semejante a la del Sol, habría estado formada en partes iguales por gas y polvo. Dentro de la nube, las inevitables irregularidades locales debieron producir una gradual rotación en determinadas zonas de la nube, obligándolas a contraerse bajo su propia acción gravitatoria. Estas zonas de mayor concentración, bien diferenciadas dentro de la masa gaseosa, no sólo atraen y capturan la materia de su espacio circundante, sino que, al seguir creciendo, sus fuerzas gravitacionales aumentan y aceleran la contracción sobre sí mismas.

Algunas de estas formaciones, demasiado lejanas como para ser atraídas por el núcleo de condensación principal, la futura estrella o Sol, son, sin embargo, mantenidas en distintas órbitas en torno a éste.

Inmersas dentro del gas original, las masas en formación se mueven, chocando a veces unas con otras, pero configurándose sistemáticamente en cuerpos independientes, cada uno con su propio campo gravitacional. En este aspecto, el Sol hace las veces de "ancla" gravitacional del sistema. Resulta imposible, sin embargo, determinar qué se formó antes, si el Sol o los planetas. La teoría de la condensación sugiere, indirectamente, la posible existencia de otros sistemas planetarios dentro de nuestra Galaxia. Desgraciadamente, de existir algún sistema de planetas en torno a algún lejano Sol, nos re-

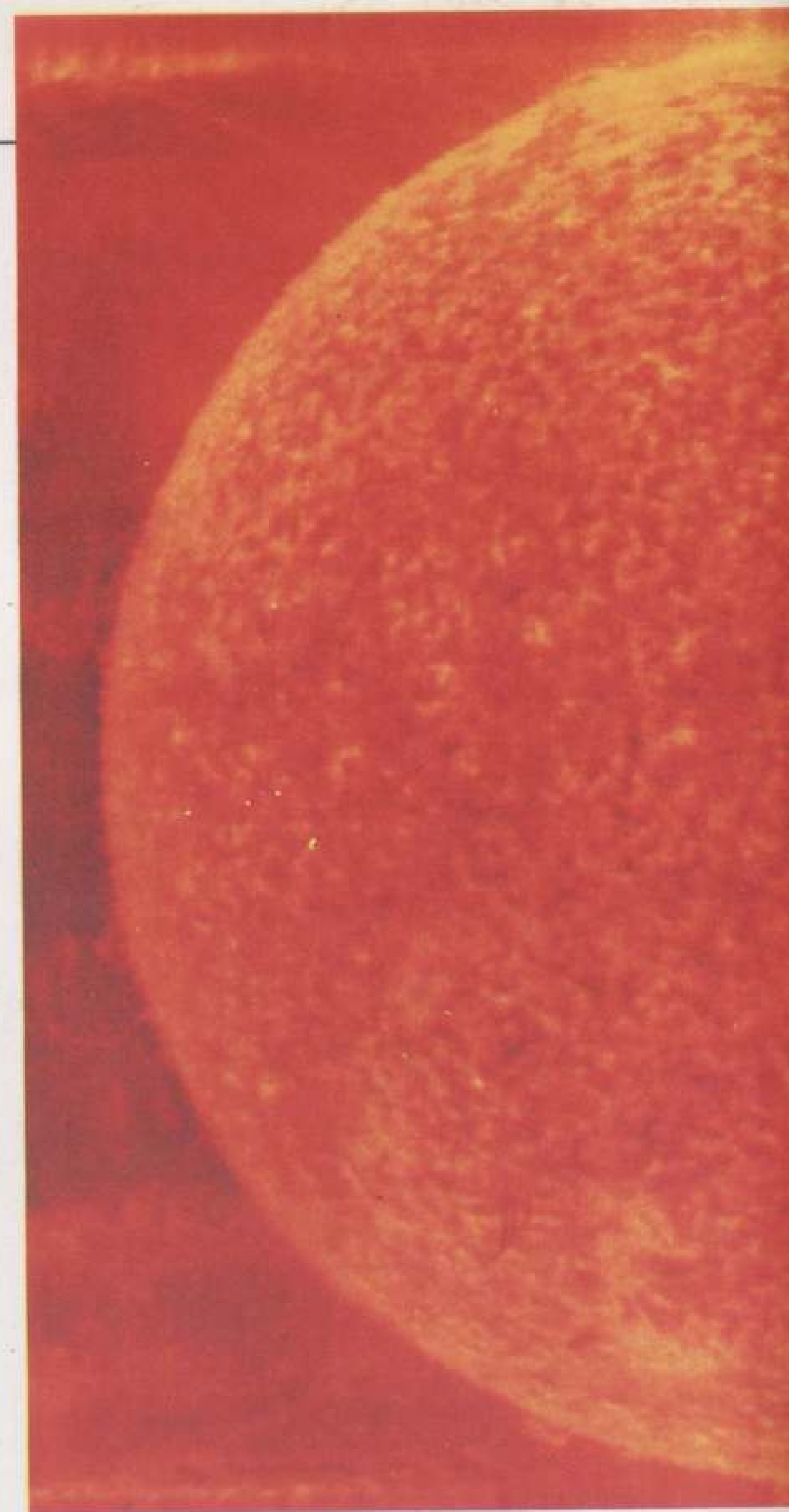


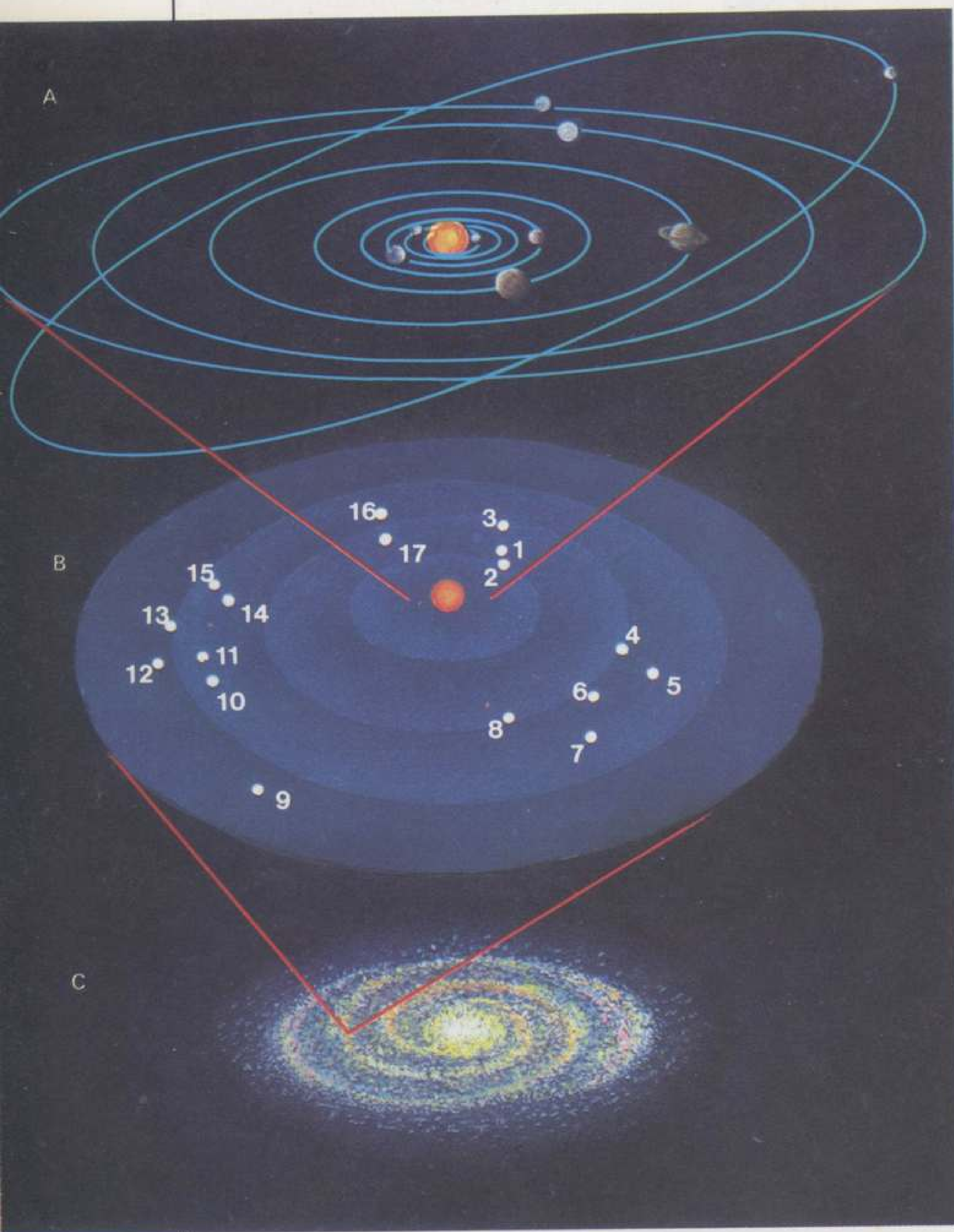
Las zonas oscuras corresponden a condensaciones de polvo microscópico, capaces, sin embargo, de interceptar la luz de la nebulosa y de las estrellas que se hallan detrás de ésta. La luminosidad es consecuencia de la difusión que el gas y las partículas de polvo provocan sobre la luz procedente de las estrellas de su interior. Dispersos a lo largo de toda la nebulosa, puede observarse una gran cantidad de glóbulos oscuros, que corresponden a zonas donde se ha desarrollado una mayor concentración de gas y partículas materiales y que, muy probablemente, sean los posibles embriones de futuras estrellas o de sistemas planetarios como el nuestro.

sultaría del todo imposible observarlo ya que estos cuerpos pequeños y oscuros son prácticamente inalcanzables mediante nuestros telescopios actuales.

Los planetas, hoy día Si los planetas se hubiesen formado a la vez que el Sol, sería posible extraer algunas conclusiones acerca de su composición. Por ejemplo, tendrían que contener grandes cantidades de hidrógeno y helio. Además, las investigaciones y cálculos sobre sus edades tendrían que coincidir con los del Sol.

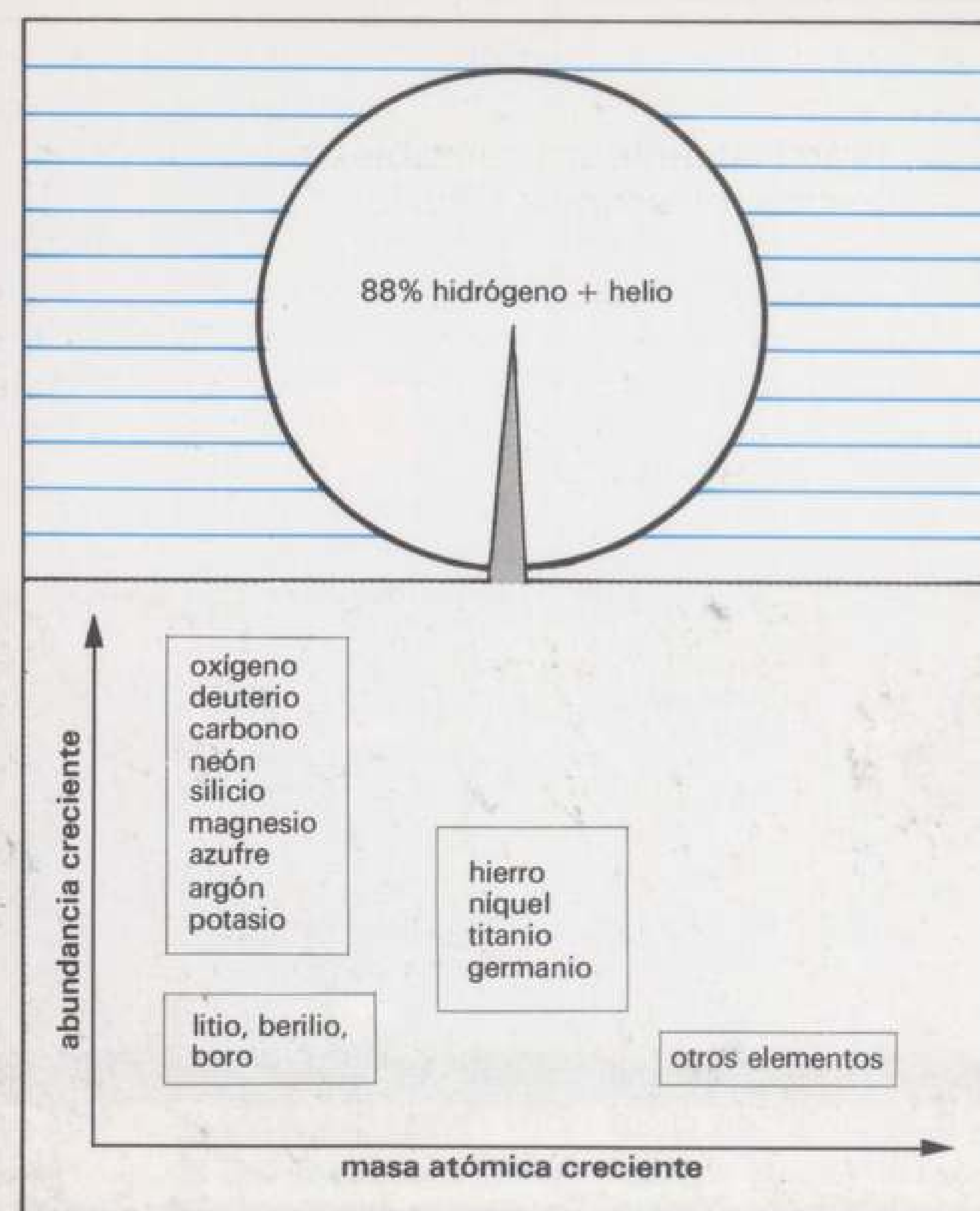
En la actualidad, existen dos categorías o clases de planetas, ambas perfectamente diferenciadas según criterios de dimensiones, masa y composición química. El primer grupo, al que pertenecen los planetas interiores, presenta una relativa escasez de hidrógeno y helio en estado ga-

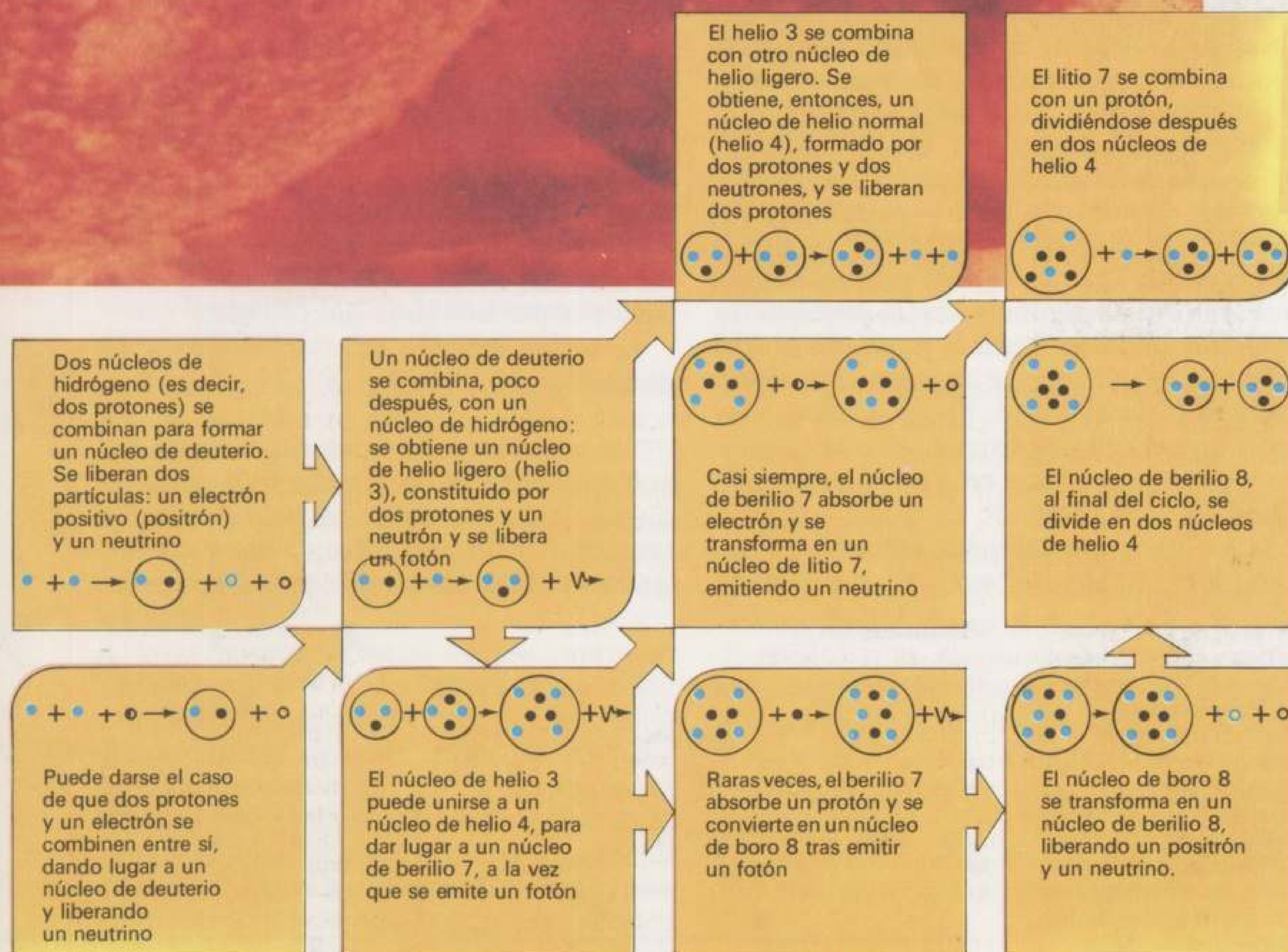




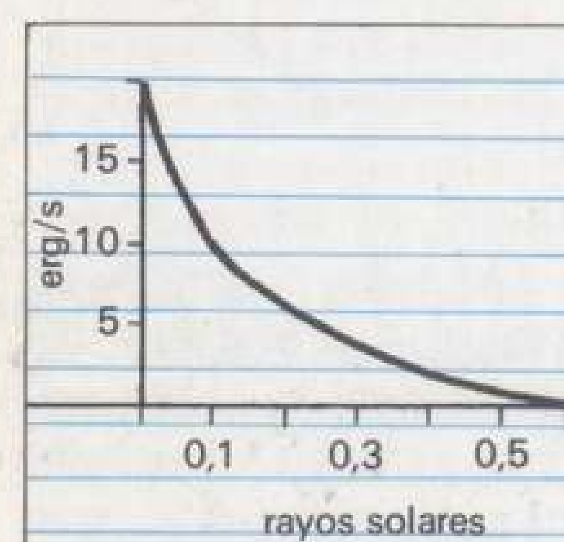


De los tres dibujos a la izquierda de estas líneas, el primero representa las órbitas planetarias (A). La Tierra describe una órbita bastante cercana al Sol, por lo que, con objeto de distinguirla de éste, se ha tenido que aumentar sensiblemente su tamaño, a efectos de mantener la perspectiva. El radio promediado de la órbita terrestre, que es en realidad una órbita elíptica, constituye una unidad de medida astronómica con la cual se expresan las distancias de las estrellas y de otros cuerpos celestes. En el centro (B) se muestra la situación de las diecisiete estrellas más próximas al Sol: todas ellas están a una distancia de nosotros inferior a un millón de veces la distancia Tierra-Sol. La mayoría de estas estrellas no son visibles a simple vista, necesitándose, por lo menos, unos binoculares para distinguirlas. En el tercer dibujo (C) se muestra la situación del Sistema solar en la Galaxia. En efecto, el Sistema solar forma parte de la Vía Láctea, un gigantesco complejo de estrellas y materia interestelar que lo rodea como un enorme disco, cuya estructura se aprecia en el esquema inferior: 1) el disco propiamente dicho, en cuyas zonas de condensación están las estrellas y la materia interestelar; 2) nubes densas de hidrógeno; 3) distribución de la materia formando grandes brazos espirales; 4) y 5) núcleo, de forma esférica y con un diámetro de casi 16.000 años luz (el diámetro de la Galaxia es de casi 100.000 años luz). El grosor de la Galaxia no excede de los 3.000 años luz en el borde exterior, siendo seis veces superior en su centro En la periferia se agrupan gran cantidad de cúmulos globulares 6), formados por millones de estrellas densas y viejas. Sin embargo, éste es el panorama que presenta sólo la materia ópticamente visible. Alrededor, y ocupando un espacio de diámetro casi doble al de la Galaxia "óptica", se extiende una envoltura de estrellas y gases enrarecidos con extensas zonas de materia oscura y, prácticamente, invisible. En la parte superior de ambas páginas, una imagen del Sol tomada con rayos X. Los planetas y el Sol nacieron, casi simultáneamente, hace unos cinco billones de años. La Tierra y el Sol deberían, al menos en su origen, haber estado constituidos por la misma materia. El diagrama superior, a la derecha, en la página siguiente, nos muestra la abundancia de elementos en el Sol y en el resto del Universo. La diferencia existente no es grande, pero es significativa. El diagrama muestra cómo la abundancia de los elementos ligeros disminuye según →

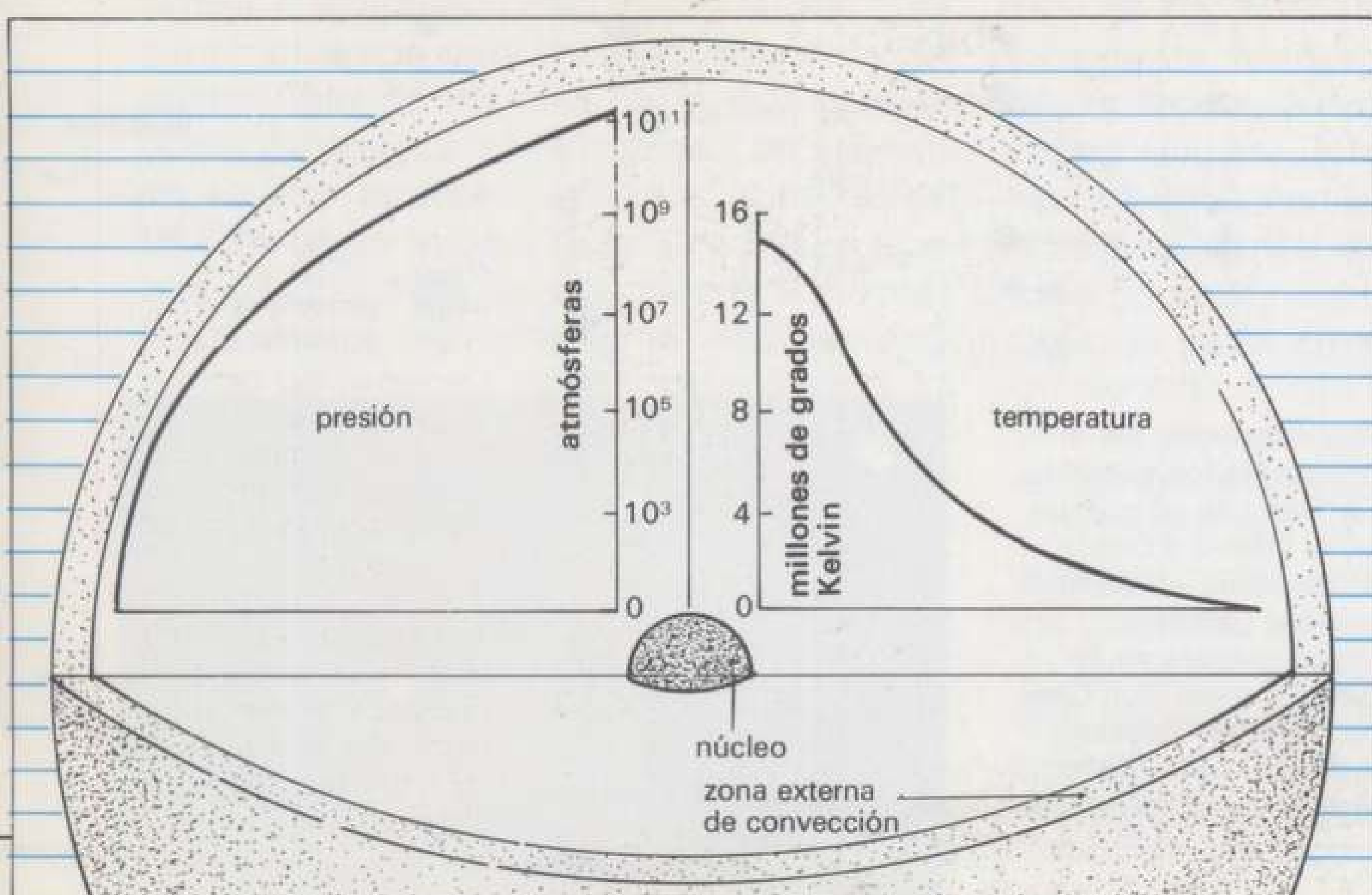




→ aumenta su número atómico, mientras que la de los elementos pesados disminuye más lentamente. Los astrofísicos han establecido que los elementos ligeros son sintetizados en el interior de las estrellas, mientras que la distribución de los elementos de elevado número atómico depende de los procesos de fusión rápida, característicos de las explosiones de supernovas. Tanto el Sol como la Tierra tuvieron su origen a partir de materia reciclada en el interior de estrellas que, posteriormente, estallaron. Esto explicaría, a grandes rasgos, la actual composición del Sol. En los planetas densos como la Tierra y los otros planetas pequeños, se habría producido, con el paso del tiempo, una volatilización de los elementos más ligeros, manteniéndose la actual presencia de los elementos pesados.







En el centro de página, a la izquierda, pueden observarse los inicios de las distintas reacciones de fusión termonuclear que tienen lugar en el interior del núcleo solar, y que son capaces de generar esa enorme cantidad de energía que, tras ser irradiada por la superficie solar, llega hasta la Tierra y los planetas más lejanos. En su lento transcurrir, cada una de estas reacciones da lugar a elementos más pesados, a partir de elementos más ligeros, y en proporción a la abundancia de éstos. Los procesos de producción de cantidades apreciables de elementos pesados requieren miles de millones de años, y son denominados procesos *s* (del término inglés, *slow*, es decir, lentos). Se diferencian, así, de los procesos *r* o rápidos (del inglés, *rapid*), que tienen lugar en la envoltura de las supernovas, durante las explosiones, y que pueden durar pocos días. Aquí arriba, la estructura del Sol desde un punto de vista de su equilibrio estático. La presión ejercida por los estratos superiores equilibra la tendencia de la estrella a dilatarse, debido a la presión de radiación que genera la enorme temperatura del núcleo. El diagrama de la derecha indica la potencia generada por unidad de volumen en el interior del Sol. Las capas externas son más frías, según se muestra a la izquierda de estas líneas.

seoso, aunque este hecho puede deberse a la tendencia manifiesta de los compuestos de hidrógeno a oxidarse y a combinarse para formar diversos compuestos químicos. La elevada temperatura que los caracteriza, debida a su proximidad al Sol, puede haber dado lugar a la expulsión y volatilización de los elementos más ligeros, como el helio. Ordenados según su distancia creciente al Sol, estos planetas —también llamados planetas terrestres— son: Mercurio, Venus, la Tierra y Marte. Los planetas exteriores — Júpiter, Saturno, Urano y Neptuno— son todos ellos cuerpos de masa elevada, y se encuentran, prácticamente, en estado de glaciación. Son conocidos, también, por el nombre de planetas gigantes o jóvenes.

Kepler, Newton y la ley de la gravitación universal Johannes Kepler, que se interesó por la Astronomía mucho antes de que Newton ni siquiera hubiese pensado en escribir su gran obra *Principia Naturalia*, hizo uso de las observaciones de su predecesor, Ticho Brahe, para formular ciertas conclusiones sobre el movimiento de los planetas. Dichas conclusiones fueron sintetizadas en tres leyes, a las que nos referiremos por K1, K2 y K3.

K1. Todos los planetas se mueven describiendo órbitas elípticas, en uno de cuyos focos se encuentra el Sol.

K2. La velocidad con que el planeta se mueve a lo largo de la órbita varía de forma que el radiovector, es decir, la línea que une el Sol con el planeta, barre áreas iguales en tiempos iguales. Esto significa que el planeta se mueve más rápidamente en las proximidades del perihelio, es decir, en la zona de la trayectoria más próxima al Sol.

K3. Cuanto más lejana es una órbita planetaria, mayor es el tiempo que el planeta emplea en recorrerla. Los cuadrados de los períodos de revolución son proporcionales a los cubos de las distancias promedio de los planetas al Sol.

Aunque Kepler allanó el terreno, fue Newton el que, poco después, clarificó, en términos matemáticos, el significado de estas tres leyes. A partir de las anotaciones de Kepler y de sus propias observaciones sobre las fuerzas de atracción gravitacional de la Tierra, Newton llegó a deducir y formular la *ley de la gravitación universal*, llamada también del inverso del cuadrado, según la cual la fuerza atractiva que una masa (por ejemplo, el Sol) ejerce sobre otra (por ejemplo, un planeta) es directamente proporcional al producto de ambas e inversamente proporcional al cuadrado de la distancia que las separa. Con esta teoría Newton estableció las leyes que rigen el movimiento de todos los cuerpos celestes.

Los planetas interiores Mercurio, el planeta más próximo al Sol, tiene unas dimensiones equivalentes a una tercera parte de las de la Tierra, y completa una órbita en torno al Sol en sólo 88 días. Una de sus peculiares características se centra en su elevado peso específico o densidad, debido, probablemente, a la expulsión de los elementos más ligeros en una etapa inicial de su formación.

No posee atmósfera, lo que explica su superficie cubierta de cráteres, vestigios de los innumerables impactos meteoríticos.

Uno de los planetas interiores más interesantes es Venus (el segundo a partir del Sol), al que, a menudo, se le llama el "planeta hermano". Sin embargo, nada más lejano de la realidad que este parentesco. Su característica más notable es su rotación retrógrada, es decir, en sentido contrario a la del resto de los planetas. Este hecho puede ser explicado —según una reciente teoría de los astrónomos chinos— suponiendo que su ángulo de inclinación aumentó gradualmente en un período de millones de años, hasta el punto de que el planeta se invirtió, de manera que ahora parece girar al revés. Venus posee, además, una atmósfera extremadamente densa y presurizada, que en su 96% está constituida por dióxido de carbono, sobre la cual se extienden densos estratos de nubes compactas y opacas. El dióxido de carbono contribuye a crear sobre Venus un intenso efecto de invernadero, que hace que las nubes y las sustancias químicas de la atmósfera retengan, en forma de calor, las radiaciones incidentes. Esta es la razón por la que las temperaturas de la atmósfera y de la superficie son tan extremadamente elevadas, hasta el punto de que las rocas de la superficie están ardiendo y el agua no está presente en estado líquido.

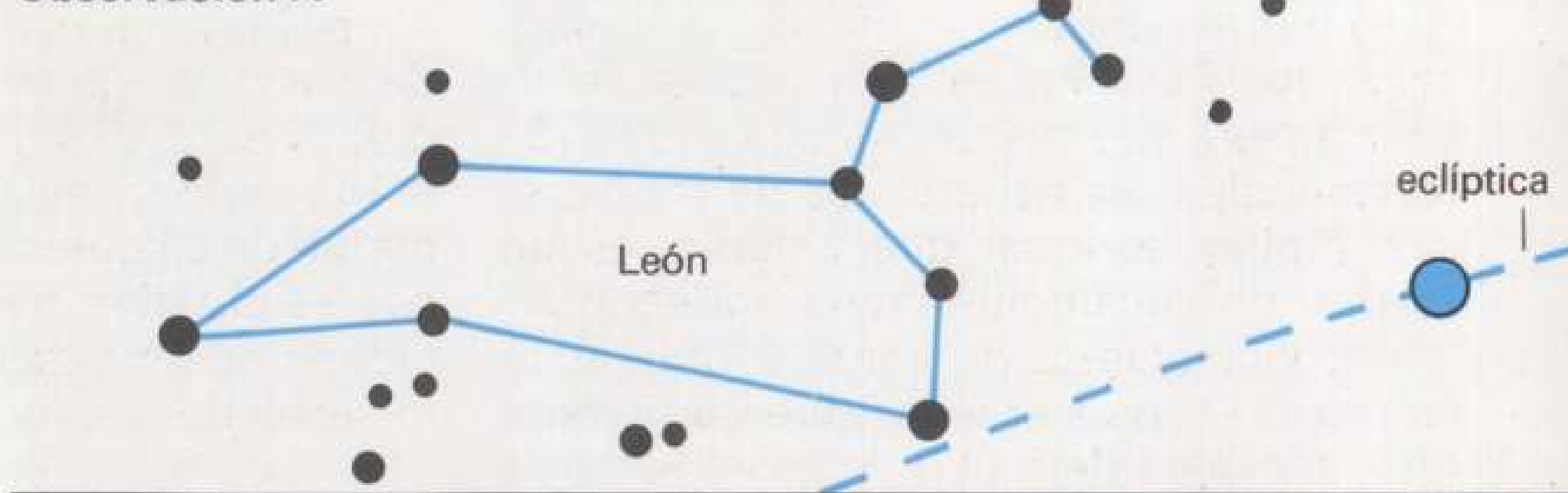
Por si ya fuera poco atractivo e inhóspito el paisaje venusiano, la gran presión contribuye a darle un aspecto más fantasmagórico, provocando un intensísimo efecto de refracción óptica. A una persona que se encontrase de pie sobre la superficie le parecería estar siempre en el fondo de un gran valle, donde las crestas de sus laderas, serían, en realidad, las líneas del horizonte.

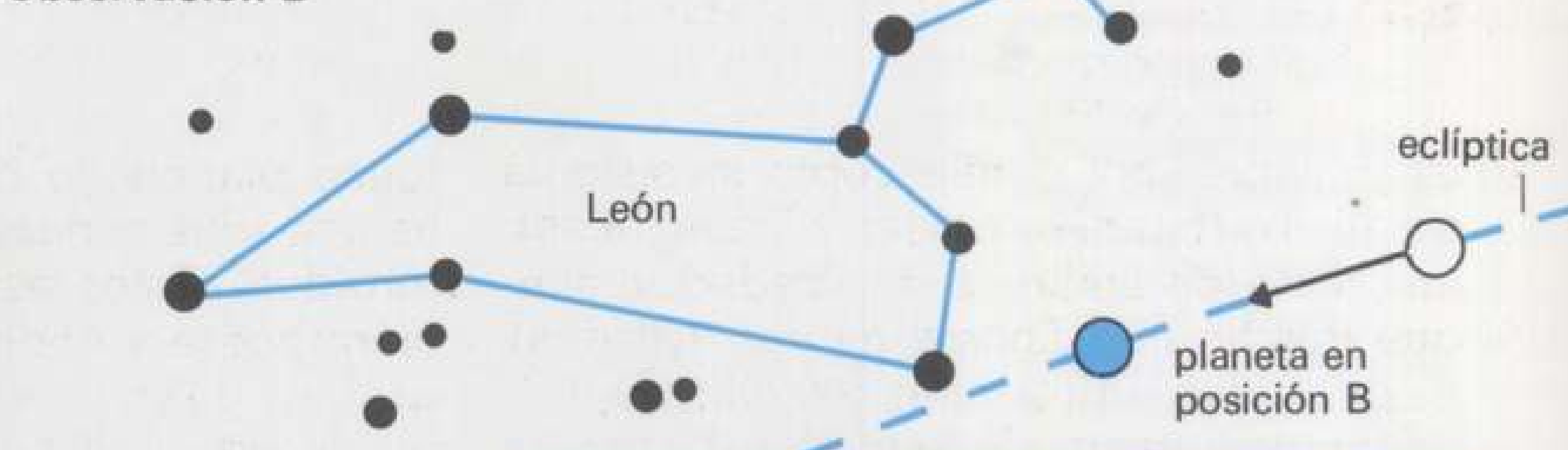
Marte, el cuarto planeta a partir del Sol, se halla 1,5 veces más lejos de éste que la Tierra. Tiene un período sideral o de revolución de 687 días y describe un giro completo sobre su eje de rotación cada 24,6 horas. Durante mucho tiempo se pensó que Marte reunía condiciones para albergar formas de vida: las similitudes que presentaba con la Tierra, como sus casquetes polares y su típica red de canales, llevaron al engaño a los antiguos astrónomos. Al igual que Venus, la atmósfera de Marte contiene un elevado porcentaje de dióxido de carbono, aunque carece de la densa capa de nubes del primero.

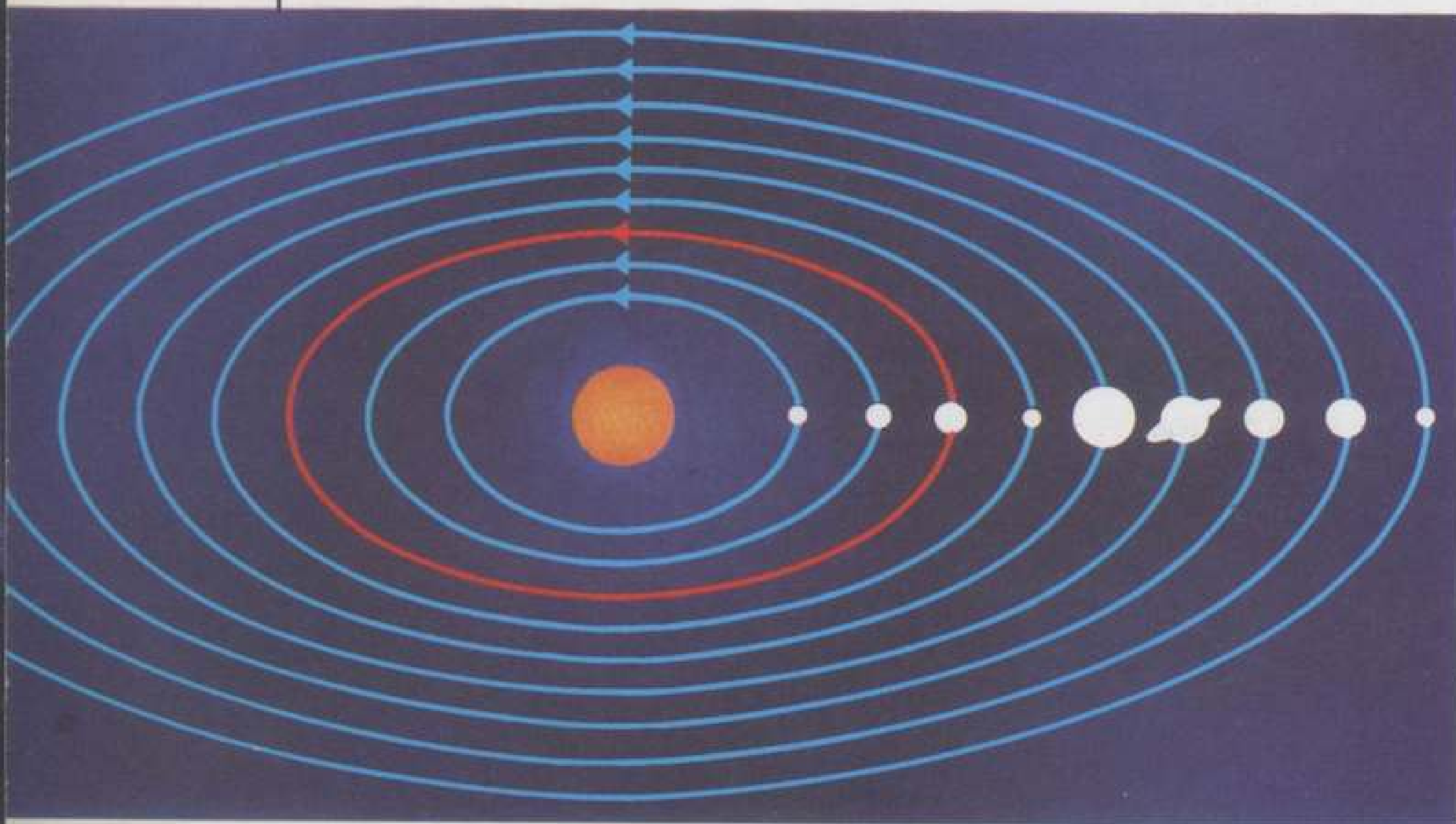
El tercer planeta interior, el mayor en dimensiones, es la Tierra.

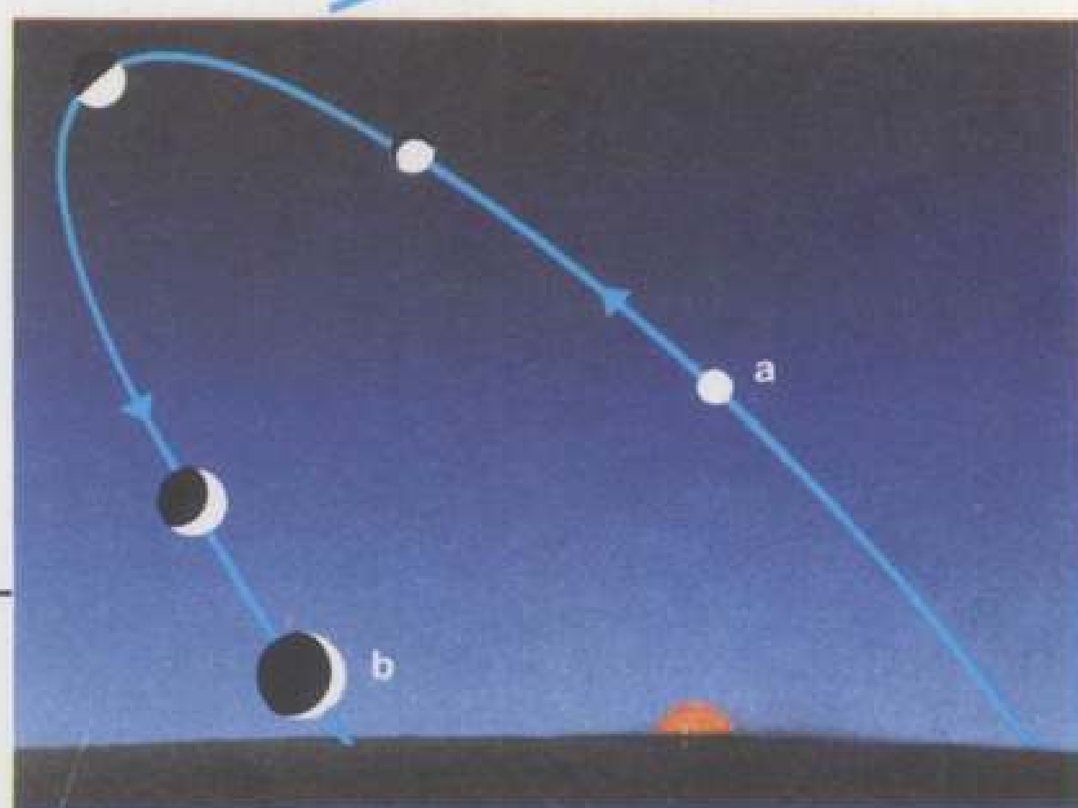
Los planetas exteriores La característica más notable de los planetas gigantes o exteriores reside en su semejanza con las estrellas. Júpiter y Saturno, en particular, contienen enormes cantidades de hi-

Al realizar dos tomas sucesivas de un mismo planeta (a la derecha), suficientemente distanciadas en el tiempo, a fin de apreciar su desplazamiento, se comprobará que éste tiene lugar a lo largo de la línea eclíptica, en un sentido o en el otro, dependiendo de la compleja composición de movimientos del planeta y de la Tierra.

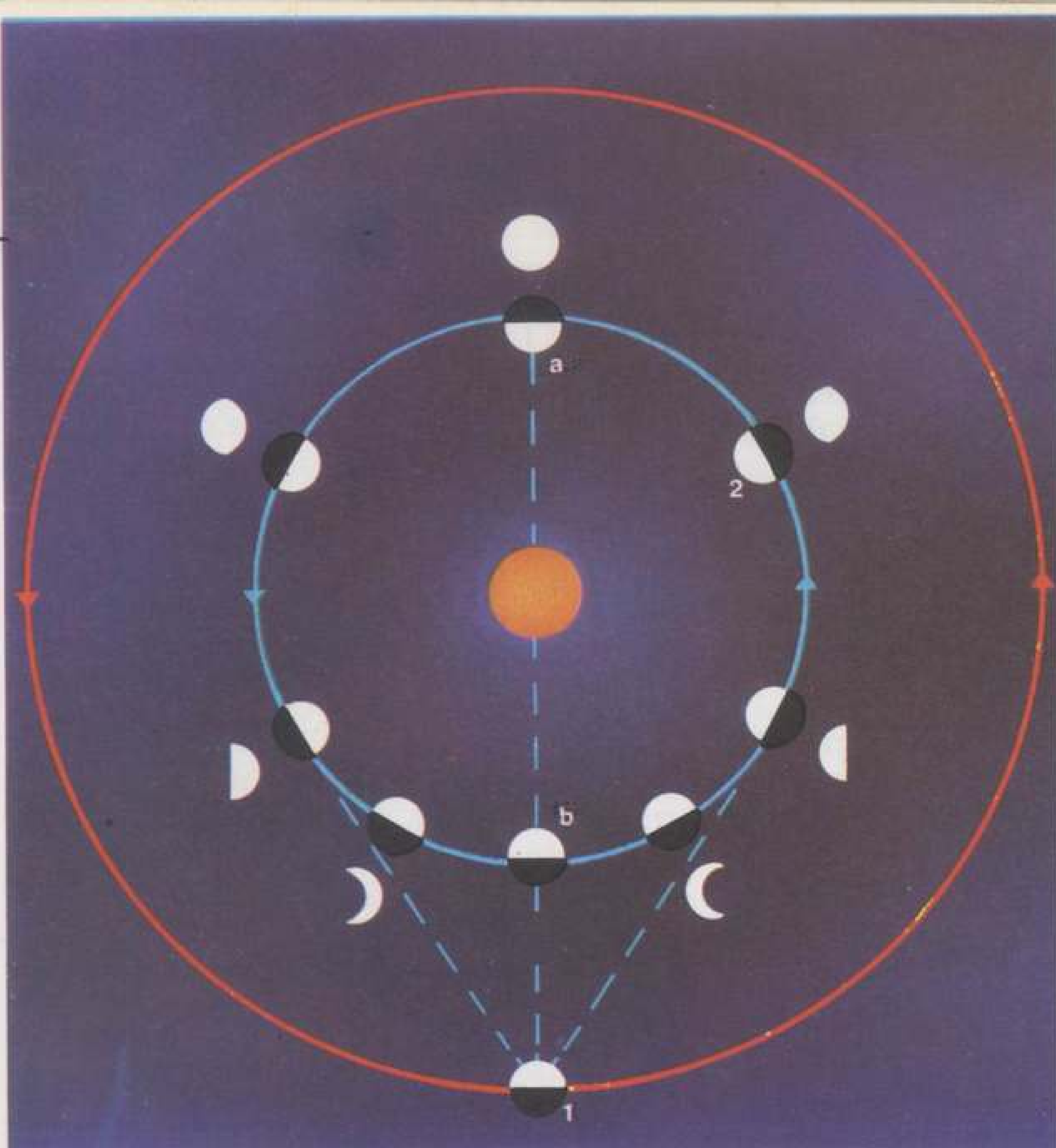


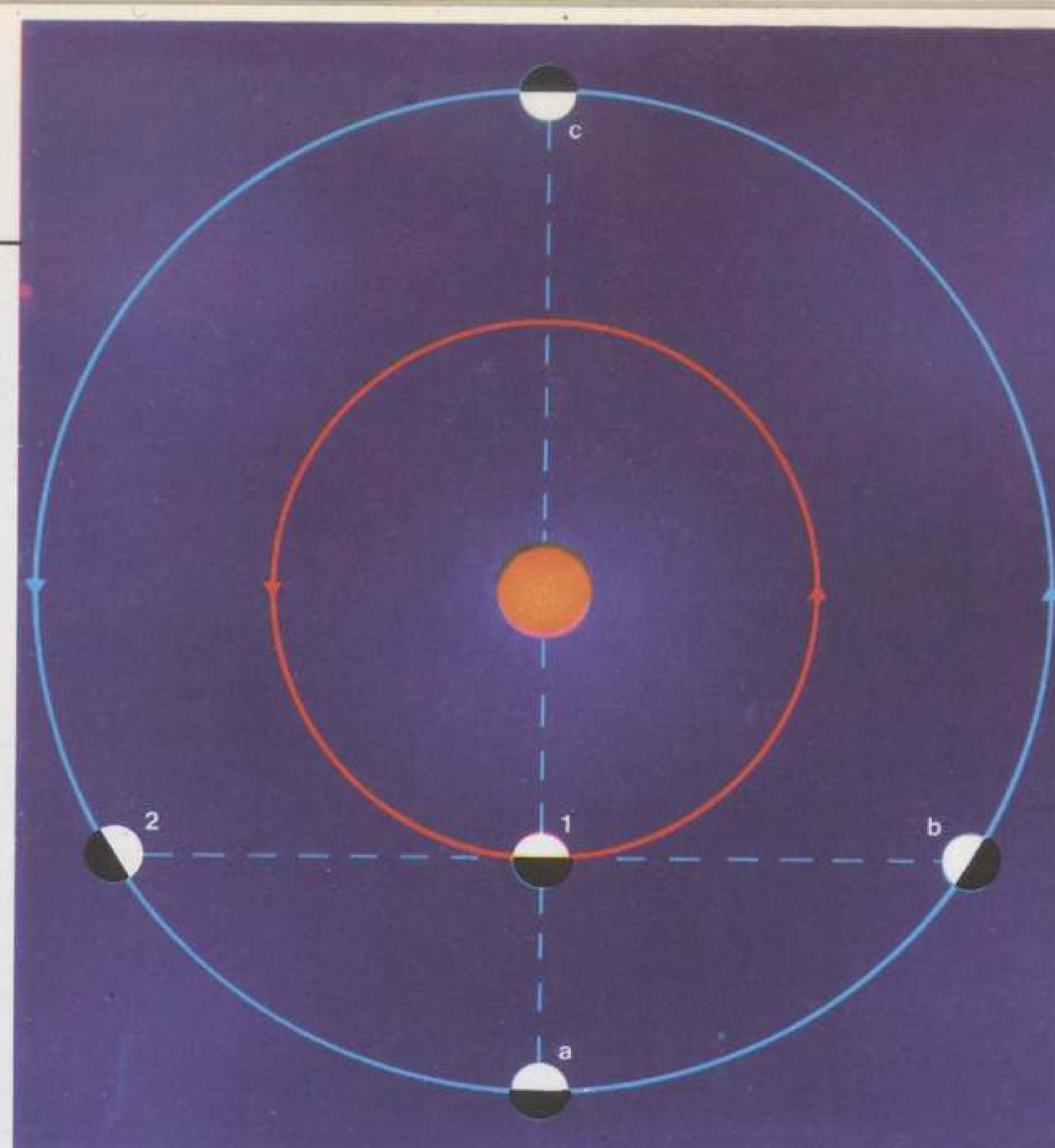






A la izquierda, las órbitas de los planetas. La Tierra se encuentra en el centro y desde su posición es siempre posible observar algún planeta en la dirección del Sol. Casi todos se encuentran, aproximadamente, en el mismo plano orbital.





A la izquierda, arriba, se muestra el mecanismo por el cual los planetas interiores, es decir, aquellos planetas que circulan alrededor del Sol describiendo órbitas más pequeñas que la de la Tierra, se presentan en distintas fases. Nótese cómo la línea imaginaria que une un planeta interior con la Tierra nunca llega a formar un ángulo demasiado grande con la línea que une la Tierra al Sol. El descubrimiento, llevado a cabo por Galileo, de que Venus mostraba distintas fases respecto a un observador situado en la Tierra, demostró que Venus giraba en torno al Sol, confirmando, así, la validez del sistema copernicano o heliocéntrico. En la página anterior, abajo, puede apreciarse cómo Venus resulta observable sólo durante los atardeceres (como muestra la figura) o durante las primeras horas de luz del día. Por otra parte, resulta sencillo comprender por qué cuando el planeta está parcialmente iluminado y presenta el aspecto de un fino gajo, es decir, en las proximidades de la fase nueva, su diámetro aparente es mayor que el que se observa cuando está en la fase llena. De muy distinta forma se nos muestran los planetas exteriores, es decir, aquellos cuya órbita tiene un diámetro superior al de la órbita terrestre. En este caso, el planeta puede ocupar distintas posiciones respecto a la Tierra y al Sol. Cuando la dirección del Sol y del planeta (observados desde la Tierra) coinciden, se dice que el planeta está en conjunción con el Sol. En esta situación, el Sol, la Tierra y el planeta, están en la misma línea. La conjunción superior se produce cuando el planeta se encuentra en el lado opuesto del Sol. Todos los planetas, por lo tanto, pueden estar en conjunción superior. Cuando el planeta se encuentra entre la Tierra y el Sol, se dice que está en su conjunción inferior. Sólo los planetas inferiores pueden ocupar esa posición. Finalmente, cuando un planeta se observa en el lado opuesto del cielo con respecto al Sol, se dice que están en oposición con éste. Sólo los planetas exteriores pueden estar situados en oposición.

drógeno y helio gaseoso, aunque estos elementos no son quemados, como sucede en las estrellas. Júpiter, situado a 778 millones de km del Sol, es el planeta más grande del Sistema solar. Aunque su masa es 317 veces superior a la de la Tierra, esto no es suficiente como para hacer de él una estrella.

La temperatura en su núcleo central alcanza los 5.000 K, demasiado baja como para desencadenar los procesos de fusión termonuclear característicos de las estrellas. Júpiter, al igual que Saturno, es un cuerpo prácticamente inerte, rodeado de nubes y caracterizado por una "gran mancha roja" —que se piensa que corresponde a una zona de turbulencia atmosférica.

Saturno, el planeta siguiente a Júpiter en orden a la distancia creciente al Sol, presenta un rasgo muy notable, que hace del mismo uno de los más hermosos objetos observables por el telescopio: su sistema de anillos (también Júpiter y Urano tienen una serie de anillos a su alrededor, aunque mucho más finos y menos vistosos). Estos anillos representan un valioso testimonio de la teoría de la condensación, ya que están constituidos por materia gaseosa, no ligada a la masa del planeta y no suficientemente densa, todavía, como para formar satélites separados. Saturno es, además, el planeta del Sistema solar de menor densidad.

Los siguientes planetas, Urano y Neptuno, presentan cierta similitud entre ellos. Ambos tienen una zona central rocosa, rodeada por estratos helados de agua, amoníaco e hidrógeno. Los análisis espectrográficos realizados indican un abundante contenido de metano en las atmósferas de ambos planetas.

Sobre Plutón, el último planeta conocido y el más alejado del Sol, se sabe todavía muy poco, hasta el punto de no poderlo englobar en ninguno de los dos grupos de clasificación. Fue observado por primera vez en 1930, aunque su existencia ya había sido prevista, anteriormente, por medio de cálculos matemáticos realizados con el objetivo de explicar las perturbaciones observadas en los desplazamientos orbitales de los planetas vecinos.

Asteroides Entre las órbitas de Marte y de Júpiter existe un espacio que, teóricamente, tendría que estar ocupado por otro planeta. Pero en lugar de este hipotético planeta, lo que se puede apreciar es una zona conocida como "anillo de asteroides". Estos asteroides, de composición rocosa y con formas y tamaños irregulares, giran alrededor del Sol y a lo largo de esta franja orbital, chocando, posiblemente, uno con otro y fragmentándose en diversas direcciones. Estos fragmentos, conocidos por el nombre de *meteoritos*, invaden continuamente las atmósferas de los planetas cercanos, aunque en el caso de la Tierra, sólo los de gran tamaño pueden llegar a alcanzar la superficie sin desintegrarse al atravesar la atmósfera. En efecto, el calor generado por el rozamiento con las capas atmosféricas da lugar a que los meteoritos pequeños se quemen antes de alcanzar a la superficie terrestre. Los meteoritos pequeños (micrometeoritos) son los responsables de esos típicos fenómenos nocturnos (también los hay diurnos, aunque la claridad del cielo nos impide verlos) conocidos por *estrellas fugaces*, cuya caída representa el último respiro de una pequeña partícula que se desintegra en las altas capas de la atmósfera.

También circulan en torno al Sol unos pequeños cúmulos de gas congelado y polvo, los *cometas*, posibles residuos de la gran nebulosa original que dio lugar al Sol y a los planetas. Normalmente, estas formaciones se ecuentran lejos del Sol, se mueven bajo la acción gravitatoria de éste, describiendo órbitas de secciones cónicas, y están sometidas a las perturbaciones planetarias. Los cometas visitantes del Sistema solar están formados por una larga cola y un núcleo brillante. Los cometas con órbita elíptica son periódicos, y retornan al perihelio a intervalos regulares. Los que se mueven según órbitas parabólicas o hiperbólicas no son periódicos y pueden abandonar para siempre el Sistema solar. Cuando se aproximan al Sol, se puede observar su estructura. Están formados por una larga cola y un núcleo brillante. A medida que se acercan al perihelio de su órbita, parte de su materia se volatiliza por efecto de la radiación solar.

Véase **Asteroide; Cometa; Meteoritos; Planetas; Sol; Universo; Universo, origen del**

Sistemas, teoría de

La palabra *sistema* (y las equivalentes en otros idiomas, coincidentes tanto semántica como fonéticamente) tiene una etimología sencilla: reproduce un vocablo latino, y éste otro griego, cuyo significado viene a ser el de *conjunto* o *reunión*.

Sus acepciones son múltiples pero todas emparentadas y cercanas a su etimología. Se dice que una cosa se ha hecho *con sistema*, o *sistemáticamente*, si se ha hecho de acuerdo con normas y planes, atendiendo al conjunto y racionalmente; o, castizamente, *con orden* y *concierto*. Científicos y filósofos llaman *sistemas* a conjuntos de teorías consistentes entre sí y relativas a aspectos amplios de la realidad o, incluso, a toda la realidad. En ese último sentido, sobre todo cuando se refiere a las grandes concepciones de la filosofía o de la ciencia, *sistema* viene a significar *weltanschauung* o *cosmovisión*. Por otra parte juristas, economistas, sociólogos, etc., suelen utilizar el término en un sentido algo más restrictivo y especializado, para referirse al conjunto de normas, usos, etc. que rigen los aspectos jurídicos, económicos, sociales o de otro tipo vigentes en una sociedad.

Por último y en principal lugar, de antiguo se ha usado, y ello con frecuencia, la palabra *sistema*, de modo propio y acertadamente dada su etimología, para referirse a un conjunto o reunión de elementos o partes, relacionadas entre sí y dotadas de algún fin, razón o función común. Así, los astrónomos se refieren al Sistema solar o los médicos al sistema circulatorio. Esta última acepción es la que ha adquirido, con ciertos matices, en las últimas décadas especial relieve y ha sido objeto de numerosas disciplinas: la Teoría de sistemas, la ingeniería de sistemas, el análisis de sistemas, etc. Incluso nuevos sustantivos y adjetivos, como *Sistémica* o *Sistemística* (la disciplina de los sistemas) o *sistémico* (que tiene carácter de o hace referencia a un sistema) se han puesto, con mayor o menor fortuna, con más o menos razón, de moda en las publicaciones, discursos e informes de pensadores y hombres de acción.

Notas para una definición de "sistema" Diversos autores dan diferentes aproximaciones al concepto de sistema; muchos incluso se refieren a *grandes sistemas* o *sistemas complejos* para excluir (quizá gratuitamente, desde un punto de vista conceptual, pero con un cierto sentido pragmático) de su área de interés los conjuntos poco numerosos de elementos ligados por relaciones simples. Tratando de sintetizar esas varias aproximaciones pueden darse las siguientes notas para caracterizar a *S* como un sistema.

S debe estar formada por una pluralidad de elementos, sus componentes o partes (normalmente en gran cantidad y con una fuerte diversidad).

Los componentes de *S* estarán ligados entre sí por diversas relaciones (normalmente muy numerosas, múltiples y complejas).

S tiene un objeto o función propia (distinta de la de sus componentes).

Las anteriores notas son aplicables a multitud de entidades, tanto formales o abstractas (de la matemática, la lógica o la filosofía) como reales (sean de naturaleza, física, biológica o social). Cuando se trata de estas últimas suelen considerarse especialmente dos notas adicionales:

— *S* experimenta un proceso dinámico.

— *S* es atravesado por flujos de materia, energía e información.

Es oportuno hacer algunas matizaciones al anterior ensayo de caracterización de lo que es un *sistema*. Por una parte hay que destacar que aceptar y citar el concepto no supone necesariamente admitir la filosofía *holística* que sostiene la existencia *real* de *todos* distintos de sus partes o asumir las teorías que postulan la emergencia de entidades superiores a partir de las de nivel inferior (de las físicas a las biológicas y de éstas a las sociales). Se puede, y se debe, manejar el concepto de sistema como meramente abstracto o formal y con finalidades puramente metodológicas u operativas. Se usa para representar, prever el comportamiento o controlar mejor la realidad, al margen que, por razones de orden filosófico, se vea o no la realidad como un "mundo de sistemas".

En coherencia con lo anterior se comprende también la idea de que el concepto de sistema tenga un carácter relativo; por ejemplo, un hombre es un sistema compuesto de células pero es un componente de la sociedad.

La aparición de los "sistemas" La aparición del concepto de *sistema* (y de las teorías y técnicas que lo usan) que, según Bertalanffy, hay que considerar como uno de los *paradigmas* —en el sentido de Kuhn— de la ciencia contemporánea, obedece a razones de dos clases: unas de tipo epistemológico, otras praxiológico. Por una parte la necesidad, sentida progresivamente a lo largo del siglo pasado y las primeras décadas del presente, de superar los excesivos particularismo y especialización de las distintas disciplinas, el gusto por los detalles y el carácter analítico de la ciencia y satisfacer la necesidad de alcanzar visiones integradas, perspectivas globales, ideas sintéticas sobre la realidad.

Por otro lado, los problemas prácticos de nuestro tiempo —técnicos, económicos, sociales o políticos— por su complejidad y por su extensión (desastres ecológicos, crisis económicas mundiales, fallos en las grandes redes de transportes y comunicaciones, crisis energética, etc.) demandan un enfoque global y multidisciplinario.

Los antecedentes concretos de las teorías sistémicas son múltiples y dispersos en el tiempo y el espacio. Entre los de naturaleza filosófica se señalan por unos el pragmatismo americano; por otros el estructuralismo francés o las concepciones



E. Zamarripa

Uno de los sectores en los que se presenta en la actualidad mayor número de dificultades, técnicas, económicas, medioambientales y sociales, es el de los transportes. La gran cantidad y complejidad de vehículos e infraestructuras, la abundancia y complejas relaciones mutuas de operadores y usuarios, las múltiples aleatoriedades de diverso origen, los fenómenos de congestión, etc., hacen que, precisamente, sea el transporte uno de los objetos preferidos de la ingeniería de sistemas. Los problemas del transporte actual no son propios, o no lo son fundamentalmente, de la ingeniería clásica. Integración de los distintos modos, economía energética, adecuación ecológica, optimización, etc. son los nuevos problemas; la ingeniería de sistemas, una posible llave de soluciones. La foto sugiere gráficamente algunas de las dificultades.

hegeliano-marxistas; los de más allá recuerdan las corrientes historicistas y las filosofías de la historia (Spengler, Toynbee, etc.).

Otro antecedente es, evidentemente, el de la Biología, en sus versiones darwinistas y organicistas (que, además, influyeron también en la psicología, la economía y la sociología). El propio Bertalanffy, padre de la Teoría general de Sistemas, es biólogo. Este origen biologista se refuerza en los años 40 y 50 con la incorporación a la biología (sobre todo a la genética y la neurología) de ideas cibernéticas procedentes de las teorías de la información y el control.

En los años 40, por obra de diferentes ingenieros, físicos, biólogos, matemáticos, etc., entre los que destaca especialmente Norbert Wiener (1894-1964), se desarrolla la Cibernética o teoría de la comunicación y el control en el animal y en la máquina (por su parte las teorías de la información y la comunicación son también de esa época y obra de Shannon y Weaver fundamentalmente).

A su vez esa Cibernética, que enfatizaba el papel que la información (junto a la materia y la energía) tiene en una correcta comprensión del funcionamiento de la naturaleza física, biológica y social, era deudora de numerosas ideas procedentes de las ciencias físicas, la ingeniería electrónica y la Biología (por ejemplo, de los conceptos de realimentación y de *homeostasis,* mecanismos de autorregulación que aseguran la estabilidad de numerosos sistemas) o de la termodinámica (por ejemplo, el concepto de *entropía* o medida del desorden de un sistema, acuñado en pleno siglo XIX y de enormes repercusiones, no sólo en la concepción del universo físico sino en la Biología y las Ciencias sociales).

Por otra parte el desarrollo de los ordenadores y de los métodos de la investigación operativa (en la inmediata posguerra) tuvo su importancia en la emergencia del concepto de sistema. Entre las técnicas de I.O. presentan un cierto carácter sistémico la programación lineal, la teoría de juegos, etc.

En otras numerosas disciplinas teóricas —Economía, Sociología, etc.— y, en gran medida, en el seno de las actividades prácticas —Ingeniería, Gestión, Política— han ido apareciendo ideas y métodos que presentaban la realidad formando sistemas: empresas, servicios públicos, dispositivos técnicos (radares, redes de transmisión, etc.) o, en lugar destacado, los propios ecosistemas naturales y las sociedades humanas.

A pesar de todos estos precedentes y también de lo discutible de algunas de sus ideas, debe reconocerse al biólogo, alemán de nacimiento y trasladado a América en los años 40, Ludwig von Bertalanffy (1901-1972) como el creador o, al menos, gran promotor de una Teoría general de sistemas (o, quizá, mejor de una Teoría de los sistemas generales). A partir de sus propias ideas, desarrollando una biología teórica por los años 20 y 30, llega a formular claramente en los 50 el concepto de *sistema abierto* —como sistema en interacción material, energética e informacional con el medio— y a promover una visión de tipo sistémico en muchas áreas del pensamiento o la acción práctica. Bertalanffy también fue uno de los fundadores de la "Society for General System Research".

Sistemas y modelos Uno de los instrumentos fundamentales del enfoque sistémico es la formación de modelos. Estos pueden ser de múltiples clases: puramente verbales, icónicos (o pictográficos), lógicomatemáticos e, incluso, físicos (basados, precisamente, en analogías matemáticas). Por otra parte puede recurrirse a la simulación, mediante técnicas informáticas "ad hoc" y apoyándose en modelos deterministas o aleatorios, del comportamiento de los correspondientes sistemas.

Frecuentemente tales modelos sólo tienen una función metodológica u operacional; se trata de explicar o predecir el comportamiento de los sistemas o de dar criterios para actuar sobre ellos, más que de desentrañar los últimos y más profundos misterios de su naturaleza. A este respecto conviene, a veces, distinguir entre modelos *cognitivos* o *explicativos* (históricos, a *posteriori,* retrospectivos), modelos *normativos* (que establecen o señalan el comportamiento, por ejemplo, de un sistema nuevo a construir), modelos *prospectivos* (que tratan de prever el comportamiento futuro), etc.

Aún sin entrar a fondo en el amplio campo de la modelización (ni en los emparentados de la simulación mediante técnicas informáticas o la construcción de modelos mediante las teorías de la semejanza física y las analogías fisicomatemáticas), ni abordar la imposible tarea de citar las innumerables técnicas de la misma, sí conviene reseñar un concepto central de la Teoría de Sistemas que tiene su base en ella. Se trata del concepto de *analogía;* dos sistemas son análogos cuando tienen modelos lógico-matemáticos que pueden considerarse idénticos o entre los que puede establecerse un cierto isomorfismo. Este concepto extiende a sistemas cualesquiera —físicos, biológicos, económicos, etc.— una idea que tuvo su origen en la Física y la Ingeniería y que ha dado lugar, incluso, al nacimiento de técnicas como la de las calculadoras analógicas (diferentes de las digitales u ordenadores y basadas en la representación mediante corrientes eléctricas de las variables del sistema real). Examinemos algún ejemplo especialmente simple para entender el concepto; sea la ecuación diferencial lineal

$$\frac{dx}{dt} = ax + f(t)$$

$$x(0) = x_o$$

que modeliza el comportamiento de un sistema tal que la magnitud representativa del mismo, variable con el tiempo t, es $x = x(t)$, tiene el valor x_o en el instante $t = 0$, y su velocidad de variación, dx/dt, es proporcional a su valor instantáneo más una función dada del tiempo $(ax + f(t))$.

Un cálculo matemático simple da como solución para x(t) la siguiente función

$$x(t) = x_o e^{at} + \int_o^t f(\tau) e^{a(t-\tau)} d\tau$$

Ahora bien si pasamos del puro modelo matemático a los sistemas que puede representar, resulta que estos son variados y *materialmente* muy diversos; por ejemplo x puede ser la cantidad de miembros de un cultivo bacteriano, de habitantes de una población humana, de artículos vendidos por una cierta firma, etc. Naturalmente en cada caso las constantes x_o y *a* y la función f(t) (que puede ser idénticamente nula) tendrán significaciones diferentes. Sin embargo, la identidad (o isomorfismo) entre los modelos permite, inmediatamente, establecer la identidad de comportamientos (velocidad de crecimiento, valores límites, etc.) de las variables representativas de uno y otro sistema.

El modelo anterior es muy simple y poco realista. En muchos casos, por ejemplo, los propios sistemas citados (población humana, cultivo bacteriano, etc.), se producen fenómenos de saturación cuando x crece, no linealidades, etc., que hacen poco verosímil el crecimiento exponencial. Ello hace que un modelo mucho más aceptable venga dado por la ecuación diferencial no lineal (del tipo llamado de Ricatti):

$$\frac{dx}{dt} = ax + bx^2 + f(t)$$

$$x(0) = x_o$$

en la que b suele ser negativa y pequeña frente a *a*. En tal caso x no crece sin límite, aún en el caso de que f(t) sea nula, como sucede en el modelo lineal con solución exponencial, sino que lo hace en forma de curva logística hasta el valor asintótico (–a/b). Otra vez ese comportamiento obtenido teóricamente en el modelo sirve para todos los sistemas.

Alguien puede preguntarse dónde está la ventaja del concepto de analogía cuando lo que se puede hacer es estudiar cada sistema con su modelo. La respuesta es sencilla: en casos simples, como el señalado, proporciona una identificación digamos que epistemológica y también práctica de sistemas fenomenológicamente diversos, pero en casos más complejos permite la posibilidad de trasladar resultados de un campo a otro y de obtener teorías generales aplicables a sistemas muy diferentes materialmente. En efecto, piénsese en dos sistemas cuya modelización matemática ha conducido a ecuaciones idénticas pero de solución difícil, impracticable o muy laboriosa. Bastará haberle resuelto en un caso para conocer la del otro. La ventaja se comprende mejor si se admite que en uno de los casos la solución pudiera ser conocida de antiguo o haberse conseguido por alguna técnica "ad hoc" (relativa a su especial naturaleza) o, caso

fundamental, no haberse resuelto matemáticamente sino obtenido los resultados reales por medidas experimentales.

Una muestra de la complejidad de los modelos con que se trabaja actualmente se consigue fácilmente complicando el ejemplo anterior. Piensése que se trata no de un sistema representado por una variable, sino a uno con varias. En un ecosistema o en un sistema social o económico el número de variables puede ser de varios cientos (o, incluso, miles). Por otra parte admítase que existen no linealidades; lo cual es absolutamente imprescindible, como se ha visto, para modelizar correctamente casos tan sencillos como el del crecimiento de un cultivo bacteriano o de una población humana. Todavía podría complicarse la cosa más suponiendo la necesidad de incluir técnicas aleatorias para representar perturbaciones, etcétera.

Las disciplinas sistémicas Más que de una única *Sistémica* o *Sistemística* o *Teoría general de sistemas* es razonable hablar de las diferentes disciplinas, doctrinas o técnicas de los sistemas y de un *enfoque sistémico* (el *"system aproach"* de la literatura anglosajona), que se caracteriza por la visión globalista y la metodología multidisciplinaria en el estudio de los problemas y en la toma de las decisiones.

Sin ningún afán de exahustividad podría hablarse de cinco grandes áreas o, tal vez mejor, de cinco grandes grupos de disciplinas que de un modo más o menos claro pueden llamarse *sistémicas*.

a) El primer gran grupo lo constituirían el llamado Análisis de sistemas, la Investigación operativa y las teorías y métodos matemáticos de orientación o aplicación sistémica, las técnicas informáticas, etc.

El llamado Análisis de sistemas (que no debe confundirse con la actividad que los informáticos designan con el mismo nombre y tiene por objeto el análisis de sistemas con vistas a su informatización) es un conjunto de teorías procedentes de la matemática, la estadística, la economía, la ergonomía, la sociología de las organizaciones, etc. y con técnicas de naturaleza más o menos heurística (modelización, representaciones gráficas, etc.) cuyo objeto es el estudio científico de las organizaciones y sistemas con vistas a su racionalización, optimización etc. Su nombre parece un tanto contradictorio ya que aúna lo que parece contrapuesto (*análisis* y *sistema*), pero no lo es tanto si se piensa que su objeto es el estudio racional y con enfoque global (o sistémico) de las grandes empresas, servicios públicos, etcétera.

El Análisis de sistemas se confunde a veces con las técnicas de investigación operativa dedicadas a la modelización matemática de problemas económicos, sociales, etc. Ambos son capaces de ofrecer resultados prácticos para los problemas en los que aparecen muchas variables y grandes masas de datos sólo cuando sus métodos y modelos pueden ser tratados informáticamente. El uso de los ordenadores para el estudio de los grandes



E. Zamarripa

Los científicos sociales de orientación *sistémica* (usuarios de modelos matemáticos y conceptos cibernéticos e influidos, a veces, por el *organicismo*, el *darwinismo* y otras visiones biologistas), interpretan las sociedades humanas como *sistemas* ("societales" dicen para evitar las connotaciones del adjetivo "social"), de los que, a su vez, forman parte diferentes subsistemas económicos, culturales y políticos, según algunos autores en interacción mutua. El sistema o subsistema político es el que constituyen los miembros de la sociedad en tanto en cuanto sujetos/objetos de relaciones de poder en los procesos de decisión que afectan a la sociedad.

sistemas puede tener, sin embargo, múltiples aspectos, como el de la simulación.

Los métodos y modelos típicos de la Investigación Operativa (de programación matemática, de las teorías de la decisión, de juegos, de colas, de grafos, de fiabilidad, etc.) no son los únicos que tienen aplicaciones sistémicas; en principio todas las matemáticas, incluso las partes más abstractas del álgebra o la topología las tienen. Piénsese, por ejemplo, en el papel que el análisis matemático, en especial la teoría de ecuaciones diferenciales, tiene para el estudio de los sistemas físicos de antiguo y, más recientemente, también para el de los biológicos, los ecosistemas, las estructuras económicas, etc. Por su parte las Teorías matemáticas de la información y la comunicación y las de la estabilidad y control son, eminentemente, de orientación sistémica (o, si se quiere ser más preciso, cibernética). Por su parte muchas de las nuevas disciplinas matemáticas, como la teoría de los conjuntos *borrosos* (fuzzy *sets*) de Zadeh, teórico también de los sistemas lineales, y la Teoría de las catástrofes que, con ideas geométricas, analíticas y topológicas, trata de analizar los problemas que su autor, Thom, llama de "estabilidad estructural y de morfogénesis", relativos a la aparición de soluciones de continuidad *(catástrofes)* en la evolución de sistemas continuos, tienen interés y aplicaciones sistémicas.

b) El segundo gran grupo lo constituiría la llamada ingeniería de sistemas. Esta, en la que a su vez, cabría distinguir a modo de especialidades —transportes, comunicaciones, defensa, etc.— es una de las modalidades propias de la ingeniería de nuestro tiempo. Frente a la ingeniería clásica, ocupada en los problemas del manejo de la materia y la energía (materiales, infraestructuras, desarrollo de máquinas, etc.) y orientada fundamentalmente a la producción de componentes elementales o de sistemas relativamente simples (vehículos o circuitos electrónicos por poner ejemplos diversos) y, como mucho, a la construcción de grandes obras civiles, la ingeniería de los sistemas se ocupa del tratamiento de materia, energía y, en principal lugar, información, y proyecta, construye y controla grandes sistemas. Sus mayores problemas no radican en el proyecto o fabricación de piezas o máquinas relativamente simples, apoyándose en conocimientos científicos (por regla general de tipo fisicomatemático) y en saberes prácticos, de índole más o menos técnico-artesanal, suficientemente probados, sino en la mutua adaptación de múltiples componentes y en la integración y optimización del conjunto. El problema, por ejemplo, del transporte actual no está tanto en fabricar vehículos más veloces, seguros, cómodos y baratos (aunque no estarían de más las mejoras correspondientes), sino en diseñar sistemas que minimicen el consumo de combustible, respeten el medio ambiente, eviten los problemas de congestión, etc. La ingeniería de sistemas (aparte de las disciplinas usuales en cada rama de actividad) utiliza los métodos propios del análisis de sistemas y de la investigación operativa, la simulación, los

métodos cibernéticos, etc. Aparte de ellos, las técnicas heurísticas en la solución de problemas y las de creatividad para el proyecto de nuevos sistemas.

A mitad de camino entre las actividades ingenieriles y la aplicación de los métodos y modelos del Análisis de sistemas y la Investigación Operativa a grandes sistemas, está la formulación de los que se suelen denominar modelos mundiales; es decir, de modelos matemáticos (implementados informáticamente, por supuesto) que tratan de representar la evolución —económica, social, ecológica, etc.— del propio planeta Tierra. Hacia los primeros 70 el equipo Meadows, siguiendo las ideas de un ingeniero, Jay Forrester, metido a modelizador (con un lenguaje de simulación informática y de técnicas matemáticas procedentes de la teoría elemental de servomecanismos) creó un modelo de este tipo para el *club de Roma* sobre los "límites del crecimiento" (1972). Luego otras instituciones y personas (entre ellas la propia presidencia de los Estados Unidos) han patrocinado diversos trabajos de esta clase, todos muy controvertidos.

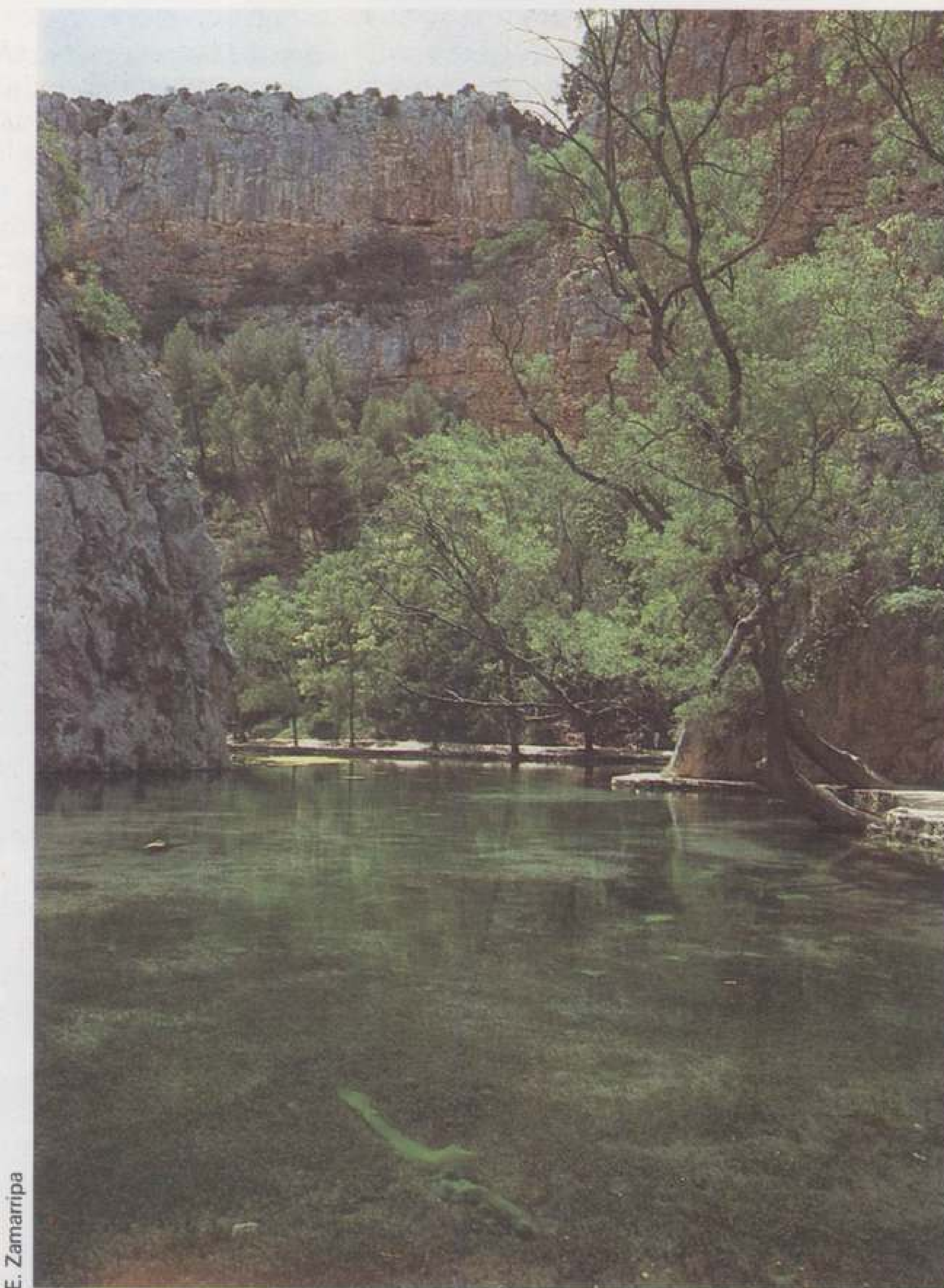
c) El tercer gran grupo de disciplinas estaría constituido por la propia Teoría general de sistemas, en sus múltiples versiones. Para muchos tal materia no existe; existen el enfoque sistémico y una serie de técnicas matemáticas, ingenieriles, etc., —por ejemplo: las teorías de la información o de la fiabilidad— que sirven al análisis de sistemas. Para otros la Teoría de sistemas se confunde con la Cibernética de Wiener y de Ashby, o con una versión ampliada de la misma que, junto a la teoría de la información y el control, incluyese las Teorías de autómatas y algoritmos, la Informática, los estudios sobre inteligencia artificial, etc., así como las aplicaciones de las mismas en Biología o en Sociología, basadas fundamentalmente en ideas como las de organismo, información, homeostasis. Para los de más allá sólo tiene sentido una teoría puramente formal, matemática, de los sistemas, basada en ideas un tanto abstractas (teoría de conjuntos, álgebra, etc.) y para la que un sistema no es sino una entidad formal —un conjunto, más una serie de relaciones—, sometida a una serie de axiomas. En dicho contexto las teorías particulares, como la de Autómatas o la de sistemas regidos por ecuaciones diferenciales, serían casos especializados. Autores como Mesarovic, conocido por un modelo mundial, Zadeh, Wymore etc. han trabajado en esa dirección.

La más popular de todas las versiones es, sin duda, la denominada Teoría General de Sistemas, fundada por el biólogo y pensador Ludwig von Bertalanffy, que partiendo de su idea de sistema abierto, de una filosofía organicística en Biología y, también, de una serie de conceptos de base matemática (modelos, analogías, estabilidad, etc.) sentó la concepción de los sistemas generales y la Teoría de los mismos.

En tiempos recientes (los primeros años 70) ha surgido una disciplina, la *Sinergética* por obra de Hermann Haken, matemático y físico importante por sus trabajos en el campo de los *láser* y de la física cuántica, cuyo objeto es el estudio de la "acción en conjunto", y los efectos cooperativos entre los múltiples elementos de un sistema que, tal vez, sea la más científica y sistémica de las posibles versiones de Teoría de los sistemas.

d) Cabe incluso una versión filosófica de la Teoría de sistemas. Tal ha sido, en cierto modo, la postura del propio Bertalanffy y de algunos de los fundadores de la "Society for General System Research", como Laszlo, pero también en pensadores de otros horizontes, como Bunge, que ven el mundo como constituido por sistemas. Tal filosofía corre constantemente el riesgo de caer en un cierto organicismo biologista —posición próxima al propio Bertalanffy— o en un cierto *holismo* que atribuye a los *todos* existencia distinta o superior a las partes. Hay autores, sin embargo, como el ya citado Bunge, que utiliza el concepto de *emergencia* de un nivel a otro —propiedades emergentes de lo físico a lo biológico, de éste a lo psicológico, etc.— como resultado de la acción conjunta (o *sinergética* que diría Haken), de una multiplicidad de elementos pertenecientes al nivel inferior. Algún lector encontrará *en esta emergencia un cierto trasunto* de la dialéctica hegeliano-marxista ("lo cuantitativo se convierte en cualitativo") que, sin embargo, suele ser rechazada por los pensadores citados.

e) Cabría todavía considerar un quinto grupo de materias sistémicas; serían la biología sistémica, la psicología sistémica, la sociología sistémica, etc. Las concepciones que en las ciencias humanas o sociales han usado modelos cibernéticos y técnicas sistémicas, han sido, a veces, objeto de fuerte controversia, criticándose y poniendo en tela de juicio su carácter científico, criticando sus resultados e, incluso, tachándolas de ideologías (en el sentido de construcciones intelectuales racionalizadoras y enmascaradoras de los intereses de grupo o clase) propias de las nuevas categorías profesionales de los tecnócratas, economistas, ingenieros de sistemas, etc. Aun dando por buenas tales críticas no puede, de todos modos, negarse la utilidad práctica y el interés metodológico que, por ejemplo, tiene ver las sociedades como sistemas *societales* formados por subsistemas como el económico, el cultural o el político, aunque ello sea con las reservas que merezca el uso de modelos globales de una sociedad o del propio planeta.



La aplicación de distintas técnicas de orientación *sistémica,* aparte del llamado "enfoque sistémico" (multidisciplinario, global e integrador), al estudio de los llamados *ecosistemas* —conjunto de seres vivos que conviven en un *hábitat* determinado— resulta una especie de tributo de éstas a las ciencias biológicas en el que muchos conceptos y métodos *sistémicos* tuvieron su origen. Los flujos de materia, energía e información que atraviesan el ecosistema, las relaciones entre especies, la evolución de los respectivos números de miembros, etcétera, suponen diferentes aspectos a estudiar por el ecólogo. Los modelos matemáticos o los métodos cibernéticos se mezclan con los propios de la biología para conseguir una imagen lo más realista posible del ecosistema.

E. Zamarripa

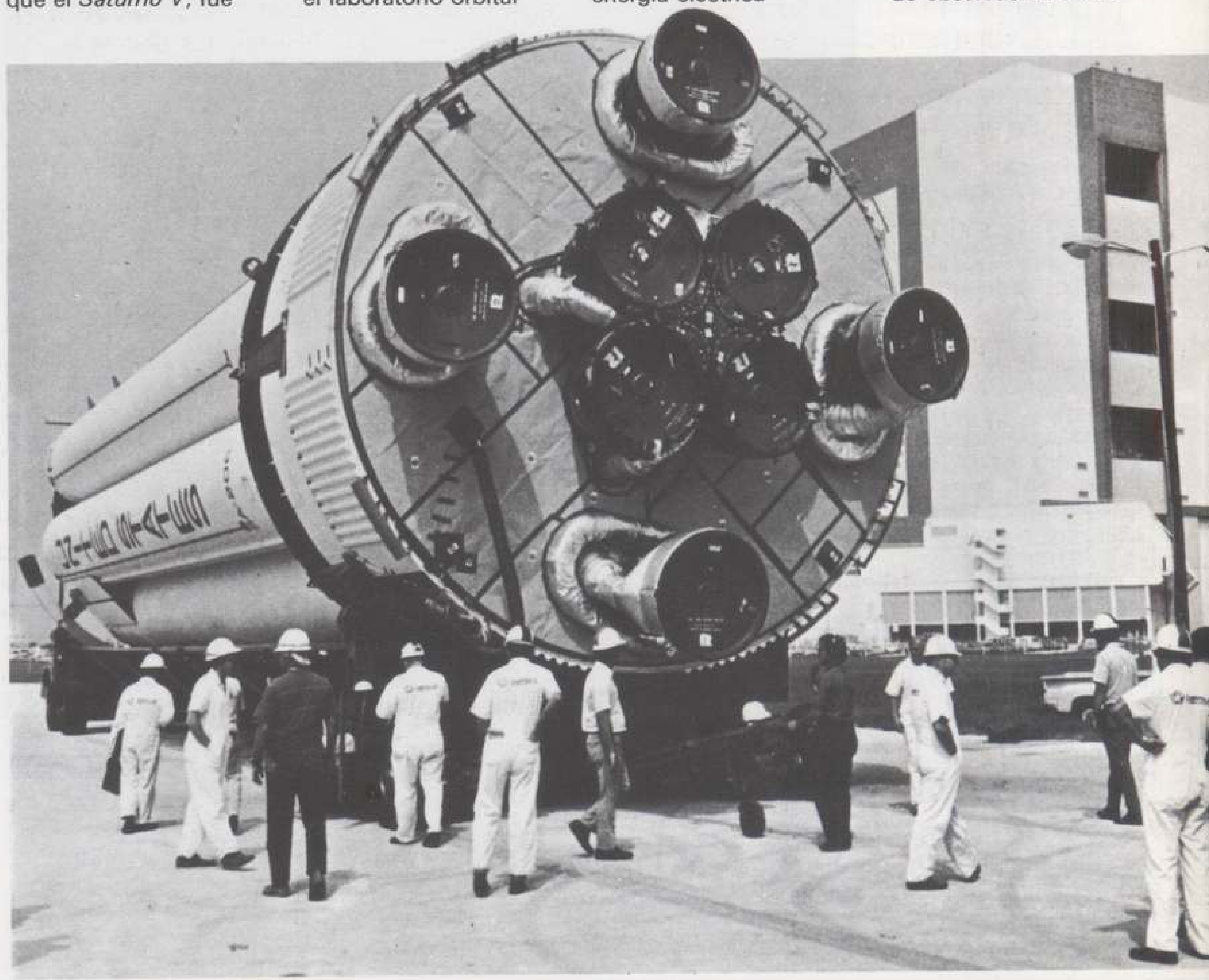
Véase **Estructura matemática; Investigación operativa; Modelo matemático; Optimización; Programación matemática**

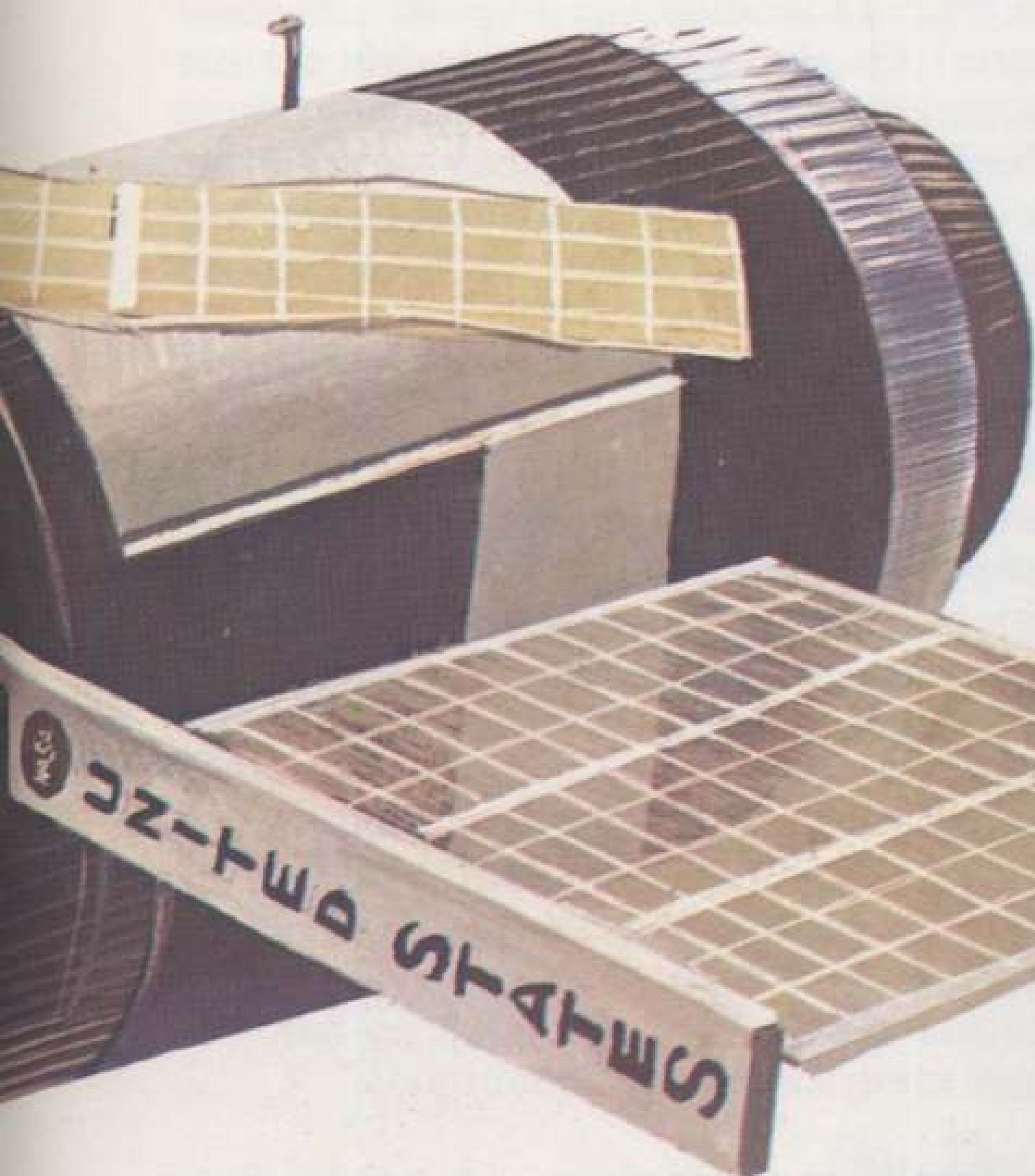
Skylab

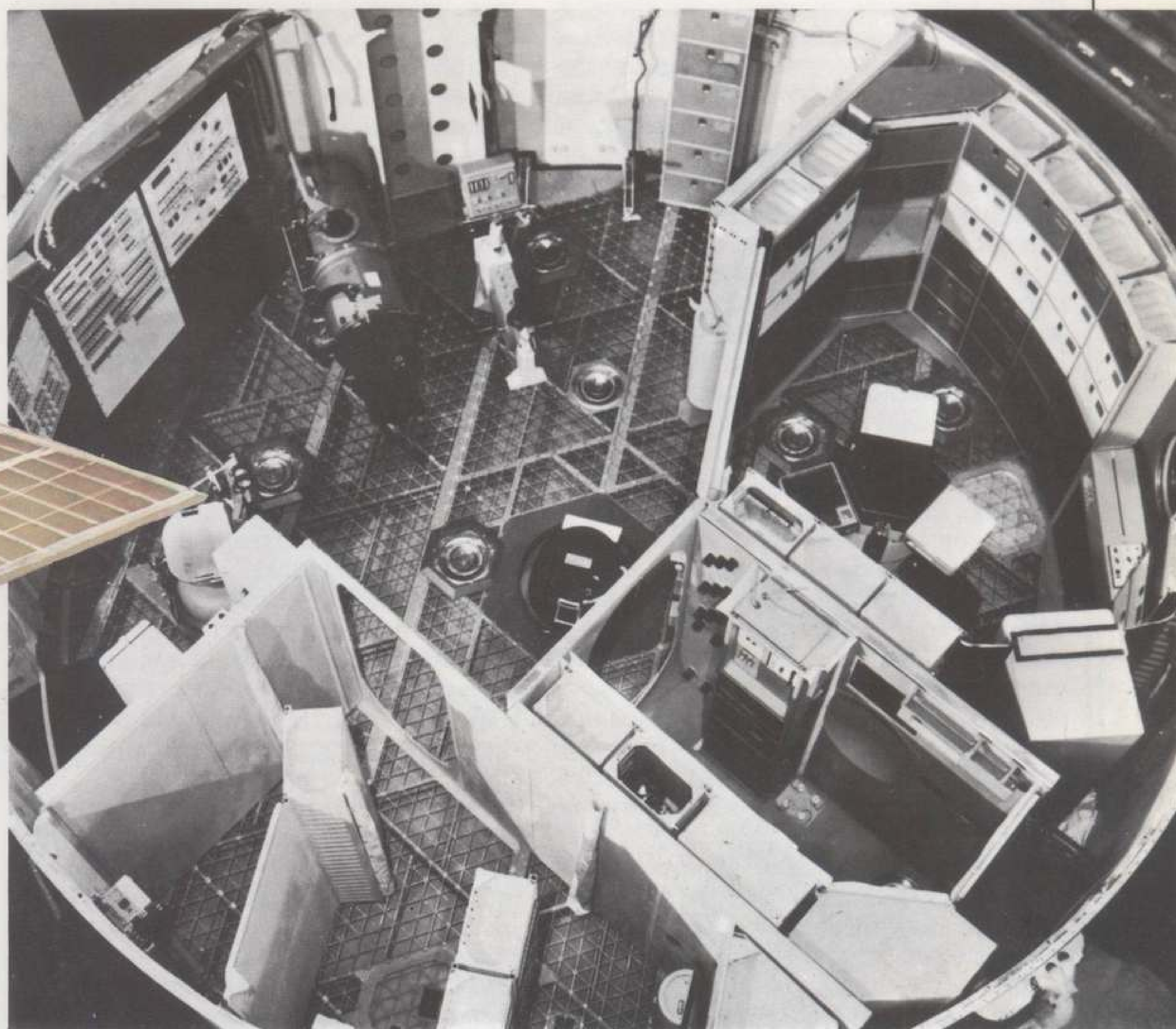
Hasta hace relativamente poco tiempo, no se sabía con certeza si los seres humanos podrían sobrevivir y trabajar durante largos períodos de tiempo en las condiciones de ingravidez que existen en el espacio. La estación orbital *Skylab* se creó precisamente con el fin de responder a ese interrogante y, al mismo tiempo, para utilizar algunos de los equipos abandonados sobre la Luna durante las misiones Apolo.

Las misiones *Skylab* El *Skylab* constituía la tercera fase (superior) del gigantesco cohete Saturno V, que había llevado a los astronautas de las misiones Apolo a la Luna. La fase superior, que generalmente transportaba el combustible del cohete, fue modificada y transformada en el habitáculo que habría de alojar a la tripulación y a los equipos de experimentación durante el vuelo. La estación espacial fue lanzada sin tripulación el 14 de mayo de 1973, situándose en una órbita circular a 440 km de altura sobre la superficie terrestre. Once días más tarde era lanzado el primer grupo de tres astronautas, que habrían de convertir el *Skylab* en su hogar durante un mes aproximadamente. Con ellos se demostró sin ningun género de duda que los seres humanos eran capaces de trabajar en el espacio, incluso en condiciones ambientales desfavorables. En efecto, las violentas vibraciones que se produjeron durante el lanzamiento de la estación espacial habían provocado el desprendimiento de una pantalla antime-

Abajo, el complejo montado para el lanzamiento del *Saturno I B*, utilizado para las pruebas orbitales de la cápsula *Apolo*. Más pequeño que el *Saturno V*, fue abandonado posteriormente, pero se reconsideró después su aplicación como vehículo de lanzamiento del módulo *Apolo* hacia el laboratorio orbital *Skylab*. Arriba, el conjunto del gran vehículo *Skylab:* se pueden observar los grandes paneles solares utilizados para la producción de energía eléctrica y una cápsula *Apolo* enlazada a la sección de comunicaciones para la reentrada en la Tierra. Un soporte octogonal sostiene la montura de telescopios de observación solar.







El gran cilindro ocupado por el laboratorio del *Skylab* estaba dividido en secciones, cada una de las cuales tenía una función específica. La imagen muestra un modelo a escala real del alojamiento de la tripulación. Este modelo fue utilizado en Tierra para el entrenamiento de los astronautas. Inmediatamente por encima de la sección aquí representada se encuentra la destinada a los grandes experimentos. Contiene los depósitos de agua y los instrumentos que serán utilizados en cada ocasión.

teorítica, de un escudo térmico de protección y de un panel solar. En el tiempo transcurrido hasta la llegada de los astronautas, la ausencia de una adecuada protección contra las radiaciones térmicas del Sol había provocado un aumento tal de la temperatura en el interior de la estación orbital que la hacía prácticamente inhabitable. Los astronautas se introdujeron en sus trajes espaciales y consiguieron improvisar y montar una pantalla térmica provisional, que funcionó perfectamente, no sólo durante esa misión, sino también en el curso de las dos misiones siguientes. Charles Conrad Jr., Joseph P. Kerwin y Paul J. Weitz, los astronautas del primer grupo, vivieron y trabajaron en el *Skylab* durante veintiocho días, antes de regresar a la Tierra. Los integrantes del segundo grupo (Alan L. Bean, Jack R. Lousma y Owen K. Garriot) comenzaron su turno el 28 de julio de 1973 y permanecieron en el espacio durante cincuenta y nueve días. Por último, el tercer grupo, formado por Gerald P. Carr, Edward G. Gibson y William R. Pogue, fue lanzado el 16 de noviembre de 1973 y permaneció en el *Skylab* durante ochenta y cuatro días.

Los experimentos del Skylab Uno de los principales resultados de las misiones llevadas a cabo en el *Skylab* fue demostrar que los seres humanos podían vivir y trabajar en el espacio durante períodos de hasta tres meses de duración. En ausencia de gravedad, la descalcificación ósea y la tendencia a la atrofia muscular podían ser frenadas y contrarrestadas por medio de intensos ejercicios físicos realizados diariamente. Pero los experimentos llevados a cabo a bordo del *Skylab* no fueron sólo de carácter médico. Uno de los más importantes experimentos astronómicos consistió en fotografiar el Sol desde longitudes de onda inaccesibles desde la Tierra, dado el efecto filtrante de la atmósfera terrestre (los tres grupos del *Skylab* obtuvieron, aproximadamente, un total de 175.000 fotografías del Sol y de su corona). Un programa de trabajo conjunto en el que intervinieron las tres misiones del *Skylab* suministró aproximadamente 46.000 fotografías de alto poder de resolución de la Tierra, en las que podían estudiarse las características tectónicas globales y los fenómenos meteorológicos. La tercera misión *Skylab* fotografió también el cometa Kohoutek, que pasó cerca del Sol poco después de la Navidad de 1973. Los astronautas realizaron también experimentos de preparación de materiales en ausencia de gravedad: consiguieron cristales con una estructura perfecta y con dimensiones mucho mayores que los que se obtienen en la Tierra, y prepararon aleaciones metálicas y materiales compuestos. Estos experimentos han servido para estimular la programación de posteriores investigaciones en el campo de la fabricación de materiales para el primer transbordador espacial.

El final del *Skylab* El 8 de febrero de 1974, después de que el tercer grupo de astronautas completara su misión, la estación espacial *Skylab* fue despresurizada y abandonada en órbita alrededor de la Tierra. La National Aeronautics and Space Administration (NASA) esperaba poder enviar otro grupo de astronautas a la estación espacial en el plazo de algunos años con el fin de reemprender las operaciones, pero los constantes recortes en los presupuestos anuales impidieron realizar dicha misión.

Con el tiempo, el ligero pero continuo rozamiento producido entre la superficie de la gran estación espacial y las capas externas de la atmósfera terrestre provocó un descenso de la órbita del *Skylab*, es decir, una pérdida de altura. Se esperaba que el transbordador espacial, que entonces se encontraba en las últimas fases de su construcción, pudiera ser lanzado a tiempo para instalar o accionar un cohete auxiliar en el *Skylab* que pudiera devolverlo a su órbita original, evitando así su reentrada en la atmósfera terrestre. Sin embargo, la batalla contra el tiempo se perdió definitivamente. En julio de 1979, el *Skylab*, controlado por la NASA, se precipitó en la atmósfera, y dejando una estela de fuego se pulverizó en miles de fragmentos microscópicos.

Véase **Astronáutica; Sonda espacial; Transbordador espacial**

Sociobiología

Recientemente, el estudio del comportamiento social de los animales ha experimentado un gran auge con el desarrollo de una nueva rama de la Etología, la *Sociobiología*, que en palabras de su fundador, el estadounidense E. O. Wilson, "se propone estudiar sistemáticamente los fundamentos biológicos del comportamiento social". Esta nueva disciplina ha sido objeto de una intensa polémica debido a que incluye el estudio del comportamiento social del hombre.

Los científicos reconocen que existe un componente biológico en las acciones humanas y animales. Incluso Sigmund Freud, que fue un pionero de muchas explicaciones puramente psicológicas del comportamiento, creía que los "instintos" relacionados con la alimentación, el sueño y el sexo radicaban de alguna forma en nuestras neuronas. Los biólogos modernos han descubierto el mecanismo mediante el cual los complicados esquemas de la herencia pasan de unas generaciones a otras, localizados en los genes de los cromosomas. Estos últimos están formados por moléculas de ácido desoxirribonucleico (ADN), y determinan los caracteres de los organismos vivos.

Los sociobiólogos han desencadenado la polémica afirmando, a veces precipitadamente, que muchas acciones humanas pueden estar programadas genéticamente. Una acción como la de entrar en una casa en llamas para salvar a un vecino, dicen ellos, puede responder a algo que se ha heredado.

Selección Para entender la teoría sociobiológica, antes hay que profundizar en el concepto de selección natural, que es un mecanismo esencial de la evolución. La selección natural tiene lugar cuando determinados genes, cuyos efectos son beneficiosos para la supervivencia del organismo, aumentan su número más deprisa que el resto y generan ciertos cambios. Tomemos como ejemplo el color de los ojos de los gatos. Se trata de un carácter totalmente determinado por los genes. Supongamos que por algún motivo imaginario los gatos de ojos azules vivieran más tiempo y estuvieran en general más sanos que los que tienen los ojos amarillos. Con el tiempo, el porcentaje de gatos de ojos azules —y, por tanto, la proporción de los correspondientes genes— se iría haciendo cada vez mayor. Así pues, finalmente, los genes para los ojos azules serían seleccionados, mientras que los genes para los ojos amarillos serían progresivamente eliminados.

Idoneidad inclusiva La Sociobiología se basa en la premisa de que los genes del comportamiento se pueden seleccionar de la misma manera que los de los ojos azules del ejemplo anterior. Incluso un comportamiento aparentemente autodestructivo, como entrar en una casa en llamas para salvar a un vecino, puede haber sido objeto de la selección natural. Esta última afirmación puede parecer ilógica, ya que cuando alguien pone en peligro su vida, evidentemente disminuye la posibilidad de transmisión de sus genes a su descendencia.

Esta aparente paradoja se explica con el concepto de *idoneidad inclusiva*. Dicho concepto fue descrito en los años sesenta por Willian D. Hamilton, y es una ampliación del concepto de *idoneidad genética*, que define la contribución de los genes de un individuo a una población, en comparación con la contribución de los genes de los otros individuos. Por definición, la selección natural hace que prevalezcan los individuos cuyo patrimonio genético tenga mayor idoneidad. El término *idoneidad* no tiene ninguna implicación moral; simplemente es una indicación de hasta qué punto puede transmitir sus genes un organismo individual.

La idoneidad inclusiva de Hamilton es la suma de la idoneidad de un individuo y su influencia sobre la idoneidad de los parientes que no sean descendientes directos (es decir, la ideoneidad del individuo más la de sus hermanos, primos o padres, pero no la de sus hijos).

Según Hamilton, el hecho de correr hacia la casa en llamas se vería genéticamente favorecido —en otras palabras, seleccionado— si aumentase la idoneidad inclusiva del salvador. Por ejemplo, supongamos que el "buen samaritano" es una mujer, y que la persona que está en la casa en llamas es su hermana. Debido a su común ascendencia, la mujer y su hermana comparten la mitad del patrimonio genético; una acción altruista de origen genético será seleccionada si la pérdida de idoneidad de la mujer que acude en ayuda de su hermana es compensada con creces por el aumento de idoneidad de la mujer que se salva.

Tratemos de imaginar que hay un gen o un conjunto de genes que han impulsado a la mujer a lanzarse dentro de la casa en llamas. Supongamos también que la hermana que está dentro está en posesión del mismo gen, y son las dos únicas personas en el mundo que lo tienen. Si la primera mujer muere pero consigue salvar a su hermana, esta última podrá tener hijos. Si la hermana, por ejemplo, tuviera cuatro hijos y tres de ellos recibieran este gen altruista, el número de personas con este gen pasaría de dos a tres y el gen se habría seleccionado.

Se trata de un ejemplo totalmente simplista, entre otras razones porque no hay genes específicos que transmitan el impulso de emprender acciones precisas, como correr hacia el peligro. De todas formas, los sociobiólogos afirman de manera categórica que los genes que inducen a un comportamiento autodestructor pueden aumentar la idoneidad de un organismo, aunque éste muera por su culpa.

Comportamiento malévolo Parte de este razonamiento se puede aplicar al extremo contrario, es decir, al *comportamiento malintencionado*. En Sociobiología se le define como la disminución de la idoneidad de un competidor a costa de la propia idoneidad (o al menos sin mejorarla). Un ejemplo clásico podría ser cortarse la nariz para desagradar a los demás. Si esta acción beneficiara de alguna forma a un pariente, podría llegar a aumentar la idoneidad inclusiva de las personas sin nariz.

Este comportamiento no es nada extraño en la especie humana. La gente hace daño muchas veces a los demás para ayudar a sûs familiares, y corre determinados riesgos. Por ejemplo, cuando un empleado se inventa bulos sobre una persona con el fin de conseguir un puesto de trabajo para su hija, aun a sabiendas de que si es descubierto puede perder el suyo. El engaño no es nada frecuente en los animales. Como dijo Hamilton en una de sus escasas bromas acerca de la Sociobiología: "Si los comparamos con nuestros excelsos niveles, los animales no son más que unos mediocres mentirosos."

Altruismo recíproco La teoría de la Sociobiología dio un nuevo paso con Rober L. Trivers, que en 1971 enunció el concepto de *altruismo recíproco*. En cierto sentido, el altruismo recíproco amplía el concepto de idoneidad inclusiva a las personas que no son parientes. Se trata de la respuesta del sociobiólogo a la pregunta: ¿Por qué los "buenos samaritanos" ayudan también a los extraños?

Trivers afirma que las personas altruistas pueden obtener un beneficio de sus acciones. Supongamos, en el caso de una vivienda en llamas, que la persona que hay dentro tiene un 50% de probabilidades de morir si no la socorren, mientras que el que acude en su ayuda tiene el 10% de probabilidades de morir en el incendio. Además, para simplificar las cosas, supongamos que cuando muere el salvador muere también la víctima, pero si sobrevive uno, sobrevive también el otro. Viéndolo como un caso aislado, es difícil entender en qué medida puede beneficiar esta acción al samaritano (dejando a un lado la satisfacción personal). Pero los incendios de las casas eran frecuentes hasta principios de nuestro siglo, y si existe la posibilidad de que la víctima pueda salvar al samaritano en otra ocasión, es evidente el beneficio que acarrea auxiliar a otra persona. Ambos habrán cambiado una posibilidad de muerte del 50% por otra del 10%. Este intercambio sólo funciona si ninguno hace trampas, es decir, si las personas salvadas no se echan atrás a la hora de socorrer a sus salvadores en próximos incendios. De todas formas, en sociedades complejas como la humana, la selección discriminará a aquellos individuos cuyas trampas tengan un efecto negativo sobre su existencia (ya que los demás no los socorrerán debido a su mala fama). Si la ayuda, como idea, va perdiendo fuerza, la idoneidad general disminuye.

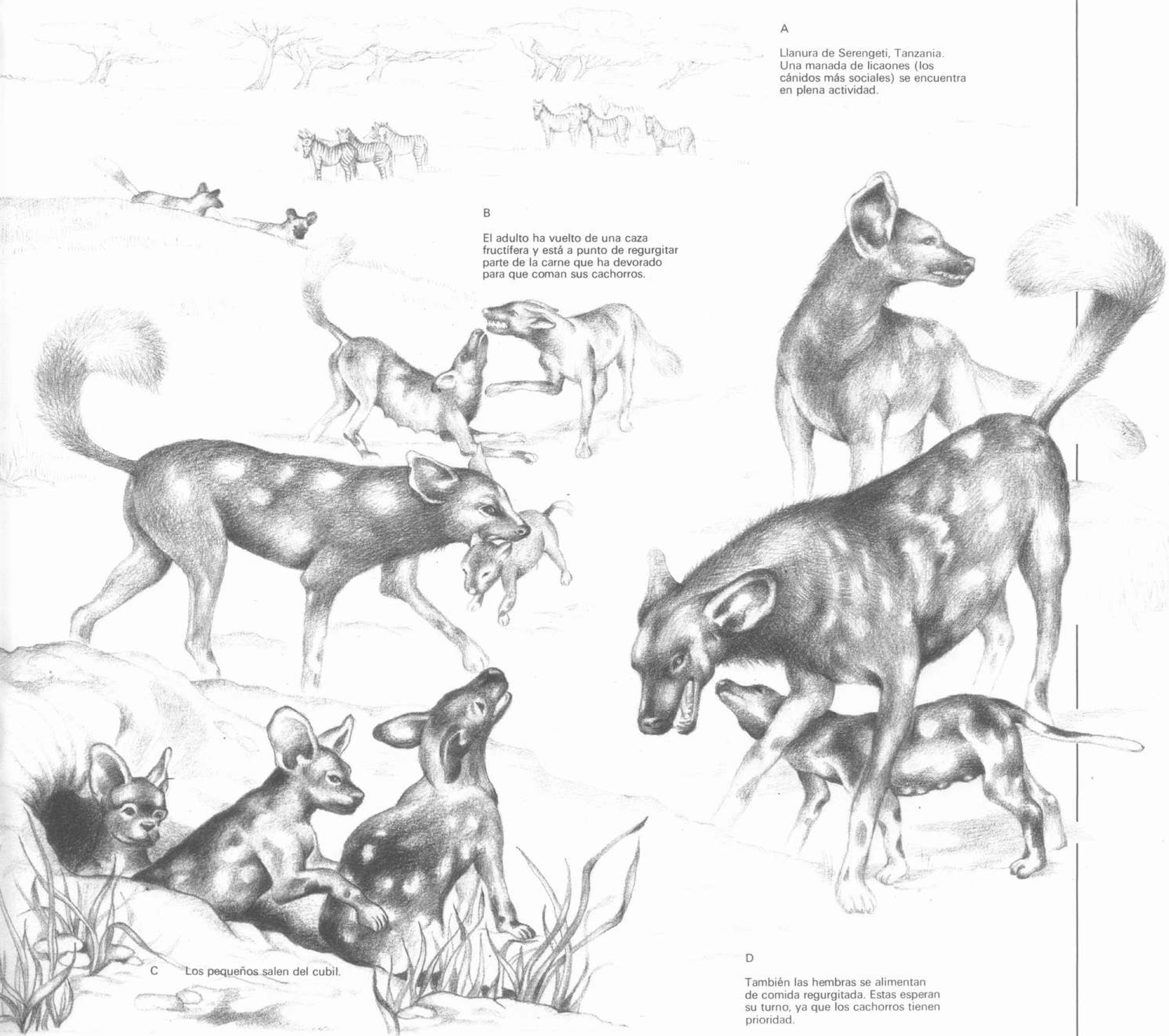
Etica Se llega así al campo de la Etica, en el que los sociobiólogos han hecho las afirmaciones más osadas y controver-

tidas. Si bien hay bastantes científicos convencidos de que muchas de las características del comportamiento animal, como la agrupación en bandadas y cardúmenes, propia de aves y peces, o los combates de los ciervos para el apareamiento, se pueden explicar sociobiológicamente, se oponen a extrapolar esas explicaciones a los seres humanos. E. O. Wilson, entomólogo de Harward, escribió en su libro *Sociobiología* (1975): "Si se une la ciencia de la Sociobiología a la Neurofisiología, se podrían transformar las intuiciones de las antiguas religiones en explicaciones precisas acerca del origen evolutivo de la ética, explicando entonces por qué en determinados momentos tomamos una opción moral en lugar de otra."

Wilson sugirió la existencia de una base genética en comportamientos humanos tales como la sexualidad. Por ejemplo, en el caso de la homosexualidad defendió la idea, junto con Trivers, de que los miembros homosexuales de las sociedades primitivas podrían haber desempeñado un papel de ayudantes, tanto en casa como en la caza. A pesar de que los homosexuales solían tener menos hijos y, por tanto, una idoneidad genética inferior, su papel de ayudantes podría haber contribuido a aumentar su idoneidad inclusiva, asegurando, con su ayuda a los parientes, el mantenimiento de un número mayor de hijos en la familia.

Algunos críticos han afirmado que la Sociobiología no es más que "un castillo de arena", ya que en realidad no se ha comprobado la existencia de genes "altruistas" o "tramposos". Por otro lado, las técnicas genéticas todavía no se encuentran lo bastante avanzadas como para descubrirlos, aunque realmente existieran y se conociera su localización.

Véase **Etología; Gen; Genética; Herencia**



A

Llanura de Serengeti, Tanzania. Una manada de licaones (los cánidos más sociales) se encuentra en plena actividad.

B

El adulto ha vuelto de una caza fructífera y está a punto de regurgitar parte de la carne que ha devorado para que coman sus cachorros.

C Los pequeños salen del cubil.

D

También las hembras se alimentan de comida regurgitada. Estas esperan su turno, ya que los cachorros tienen prioridad.

Sodio

NOMBRE	SODIO
SIMBOLO	Na
ETIMOLOGIA DEL NOMBRE Y DEL SIMBOLO	del latín científico, *sodium;* el símbolo, del lago Natriun, rico en sus sales.
N. ATOMICO	11
PESO ATOMICO	22,9898
ESTADO NATURAL	en la sal gema, sosa, bórax, nitrato de sodio y en el agua de mar
DESCUBRIMIENTO O AISLAMIENTO	H. Davy (1807)
PRODUCCION	electrolisis de cloruro fundido
P. f. (°C)	97
P. eb. (°C)	892
PESO ESPECIFICO O DENSIDAD	0,97
PROPIEDADES Y APLICACIONES	Metal blando, cuyas sales son solubles en agua; se usa en la síntesis del plomotetraetilo, en la reducción de aceites minerales y vegetales y para la preparación de detergentes; en estado líquido, se usa en los reactores nucleares como intercambiador de calor



El sodio es un metal más blando que el plomo, que puede cortarse fácilmente con una navaja. El corte reciente presenta una superficie de aspecto brillante-plateado, pero expuesto al aire pierde el brillo, recubriéndose de un polvo blanco de óxido o bien de hidróxido de sodio (NaOH), ya que este elemento se combina fácilmente tanto con el oxígeno del aire como con el vapor de agua.

Su menor densidad le permite flotar en el agua, pero reacciona vivamente con ésta (reacción exotérmica), desprendiendo hidrógeno y formando hidróxido de sodio. Debido al calor de la reacción, el sodio funde y adopta la forma de una pequeña esfera que se desplaza a través de la superficie del agua de forma caprichosa, como consecuencia de la disminución que experimenta la tensión superficial al disolverse el hidróxido de sodio formado.

Expuesto al aire, el sodio arde, produciendo una llama amarilla deslumbrante. También se produce esta luminosidad cuando en un tubo que contiene sodio se hace saltar una chispa eléctrica (lámparas de sodio).

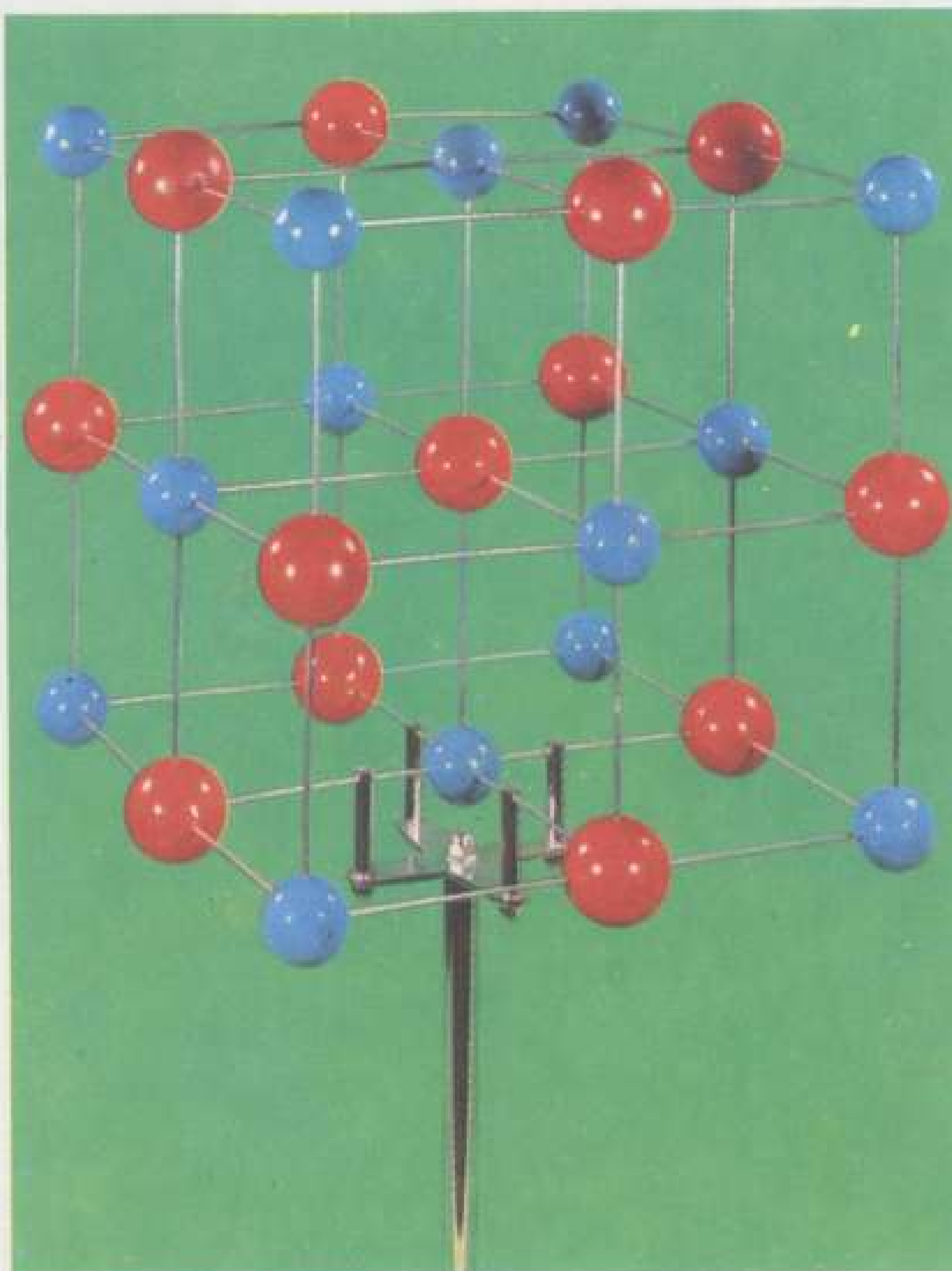
Actividad química El sodio pertenece al grupo de los alcalinos (Ia) de la Tabla periódica de elementos. Como todos los elementos de este grupo, tan solo contiene un electrón en la última capa. Su electrovalencia, por tanto, es +1, es decir, tiende a ceder ese electrón a otros átomos más electronegativos, como son el flúor o el cloro, convirtiéndose entonces en ion sodio (Na^+).

Una medida de la actividad química de los átomos que tienden a ceder electrones es el *potencial de ionización*, que se define como la energía necesaria para arrancar un electrón al dominio del átomo. Cuanto menor es el potencial de ionización más fácilmente cede el electrón y, por tanto, más activo es el elemento. De todos los elementos del Sistema periódico, los pertenecientes al grupo de los alcalinos son los que presentan un menor potencial de ionización, siendo el cesio (Cs) el de menor potencial y el litio (Li) el de mayor. Debido a su gran reactividad, el sodio no se encuentra libre como elemento en la Naturaleza, sino que aparece siempre en forma de ion sodio (Na^+): sal común, sal gema, silicatos, etcétera.

El sodio, sustancia refrigerante Los metales alcalinos tienen puntos de fusión relativamente bajos (el cesio, por ejemplo, se funde en un día de calor veraniego) y puntos de ebullición relativamente elevados. Por tanto, se presentan en estado líquido en un amplio intervalo de temperaturas. Poseen también calores específicos elevados (el calor específico de una sustancia es la relación entre su capacidad calorífica y la del agua), y el sodio no es la excepción a esta regla, siendo una de sus características el poder absorber una gran cantidad de calor, que después cede muy lentamente.



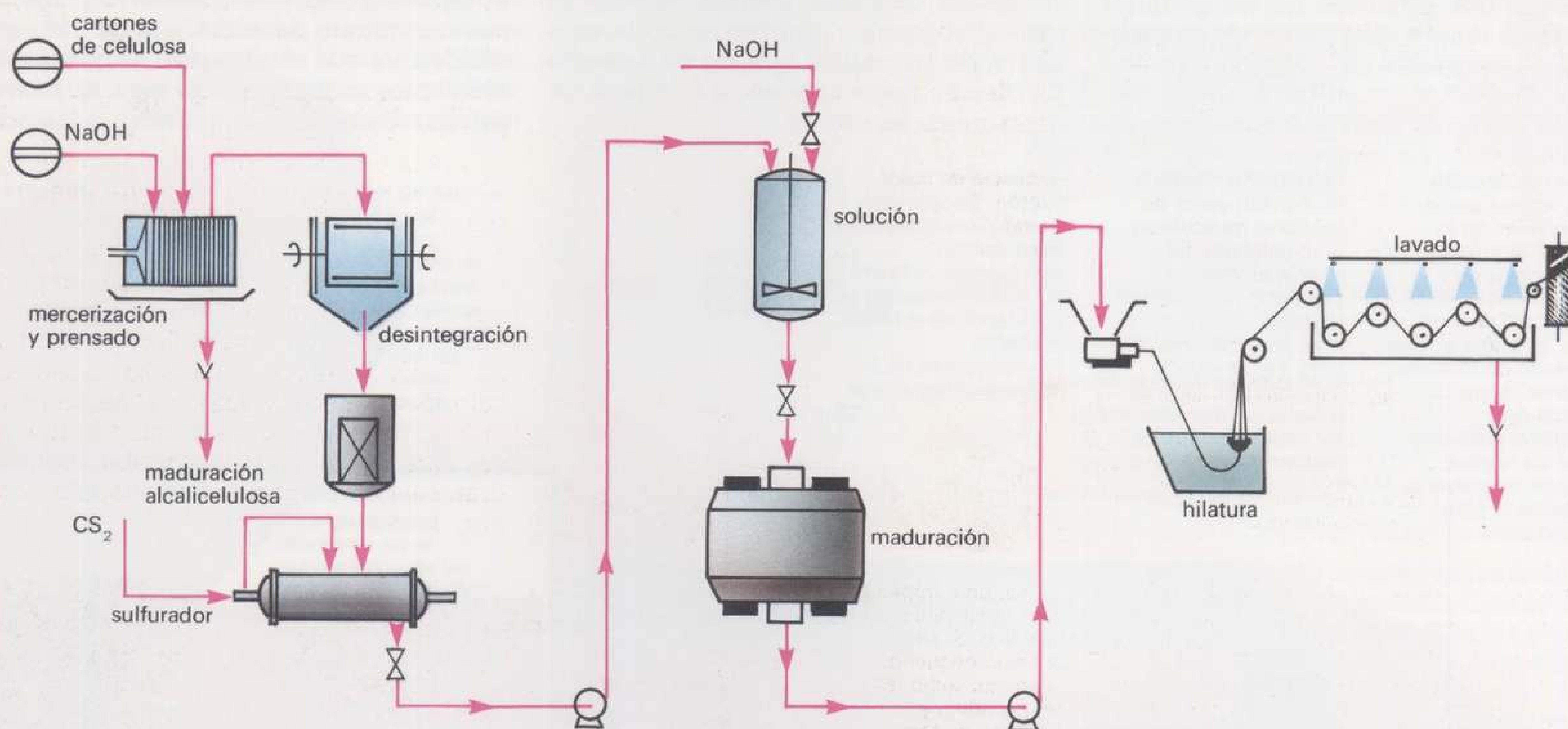
Arriba, una propiedad característica del sodio metálico. Si se queman pequeños trozos de sodio, éstos se incendian y explotan de forma espectacular. A la derecha, sal común. El cloruro de sodio es uno de los elementos básicos en la alimentación, la conservación de los alimentos y la preparación de muchos compuestos de sodio. El sodio no se encuentra libre en la Naturaleza, pero es muy abundante en combinación con otros elementos. Bajo estas líneas, red cristalina del cloruro de sodio.



La amplitud del intervalo de temperaturas en las que el sodio permanece líquido y su elevado calor específico hacen de este elemento un medio muy útil para transferir calor de un lugar a otro. Debido a esta característica, el sodio encuentra una amplia utilización en las centrales eléctricas nucleares. Estas centrales emplean la energía nuclear para generar calor, y el sodio cumple la función de transferir este calor al exterior del reactor nuclear, donde calienta el agua hasta su ebullición. El vapor producido en esta ebullición se emplea después para hacer girar las turbinas que accionan los alternadores.

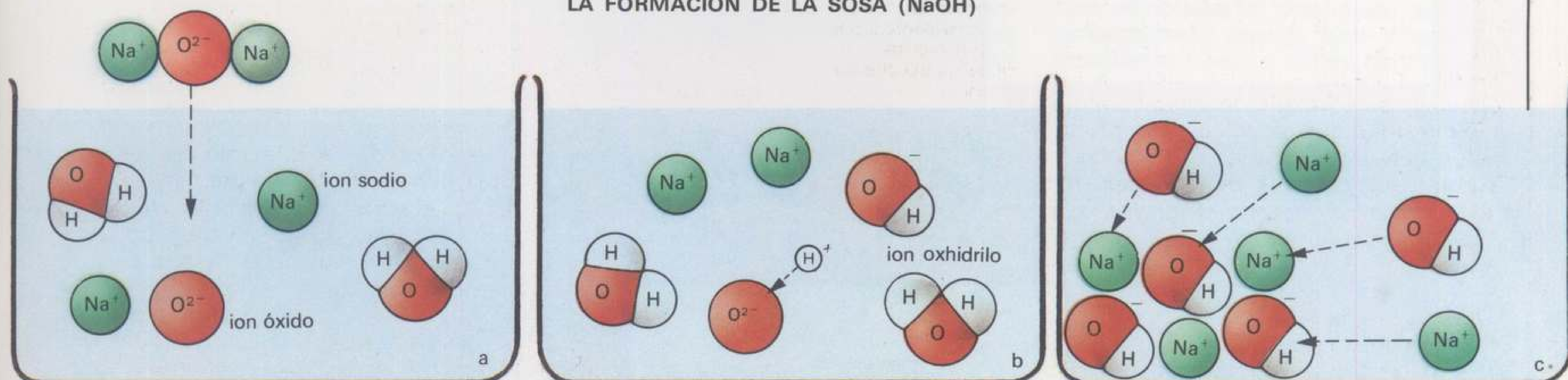
Compuestos del sodio A causa de su gran reactividad química, el sodio no se encuentra nunca en estado puro. Aparece, en cambio, formando parte de multitud de compuestos, dado que por su abundancia es el sexto elemento de la corteza terrestre. El compuesto más familiar es la sal común,

Esquema del proceso de fabricación industrial del rayón viscoso, es decir, de celulosa regenerada del xantato de celulosa y adaptada para ser hilada o reducida a láminas delgadas para la producción de hilo o celofán, los dos usos principales del rayón viscoso. La celulosa se prepara en forma de cartones, con un contenido de humedad no superior al 8%; éstos se sumergen a temperatura ambiente en una solución de NaOH al 18%: tiene lugar entonces la primera transformación de la celulosa en sodio-celulosa (mercerización). Esta segunda sustancia se tritura y se transforma en una pasta homogénea que madura durante algún tiempo. Luego, se trata con sulfuro de carbono y se obtiene el xantato de celulosa. Este producto se descarga en los cilindros de preparación de la solución viscosa que se obtiene con xantato más NaOH diluido. El jarabe amarillo oscuro que se obtiene se envía a los recipientes de maduración. Aquí, tras 60-80 horas a temperatura ambiente, la viscosidad de la solución se reduce y ésta adopta lentamente el estado de gel. En ese momento el producto está acabado y dispuesto para el hilado o la fabricación de celofán.



Abajo, formación del hidróxido de sodio, conocido comúnmente como sosa cáustica. El óxido Na_2O es básico y forma cristales iónicos que contienen dos iones N^+ por cada ion O^{2-}. Dado que el Na_2O es particularmente higroscópico, es decir, que tiene la capacidad de absorber agua de la atmósfera, representa un excelente agente de secado. Se disuelve en agua produciendo una solución fuertemente básica de iones Na^+ y OH^- que, evaporada en seco, da lugar al hidróxido de sodio cristalino. En el esquema, los cristales de óxido de sodio se rompen en el agua (a), formando iones Na^+ y O^{2-}. Los iones óxido (O^{2-}) atraen a los protones de las moléculas de agua; se forman así iones oxhidrilo (b). Durante la evaporación, los iones de sodio se unen a los iones oxhidrilo, formando hidróxido de sodio (c). Generalmente, el hidróxido sódico se obtiene por electrolisis del cloruro de sodio.

LA FORMACION DE LA SOSA (NaOH)



o cloruro de sodio (ClNa), una sustancia que se encuentra disuelta en el agua de mar (la sal de mayor proporción), y en todos los fluidos de los organismos animales y vegetales.

El carbonato de sodio ($NaCO_3$) es un agente detergente, mientras que el bicarbonato ($NaHCO_3$) se utiliza para combatir la hiperacidez gástrica y, en algunos casos, como "levadura" en la repostería casera. Antes, estos productos químicos se usaban para la fabricación de una especie de agua mineral denominada "agua de soda", pero en la actualidad ha caído en desuso.

El sodio es tan activo químicamente que no puede ser separado de los elementos con los que se encuentra unido mediante los medios químicos habituales. Debe ser aislado mediante electrolisis, una reacción química de descomposición de los elementos de un compuesto que tiene lugar al hacer pasar una corriente eléctrica a través de un electrolito de dicho compuesto, produciéndose así una acumulación de sus iones en los electrodos. En efecto, el método electrolítico fue el empleado por el químico inglés sir Humphrey Davy para aislar por primera vez el sodio, en 1807. Para dar un nombre al nuevo elemento, Davy latinizó el termino "sosa" (la sustancia de la cual lo había aislado) en "sodium", término que ha llegado hasta nosotros.

Véase **Sodio, nitrato y nitrito; Tabla periódica de elementos**

Sodio, nitrato y nitrito

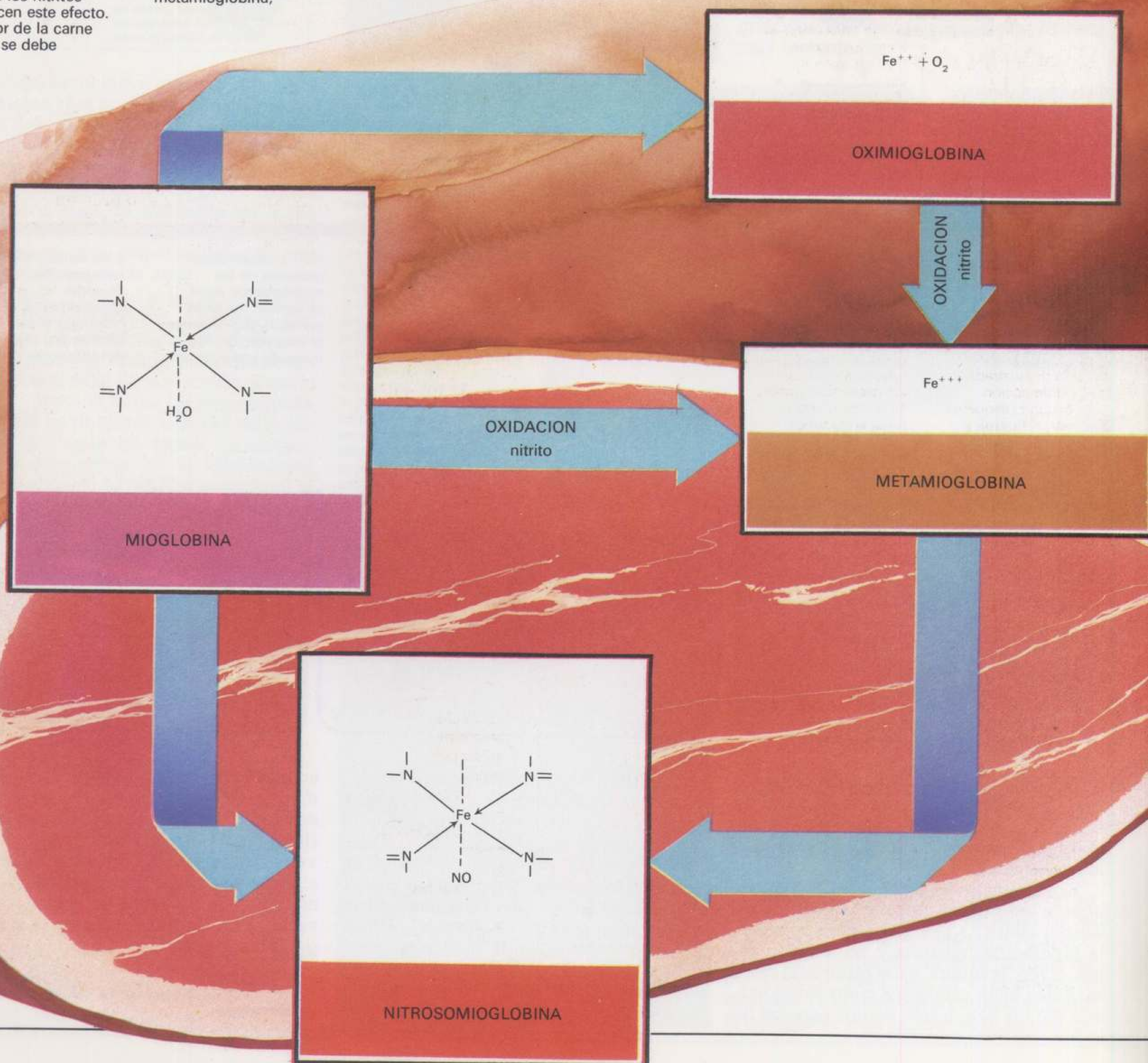
Durante los últimos tiempos, la utilización del nitrato ($NaNO_3$) y del nitrito de sodio ($NaNO_2$) como aditivos en las sustancias alimenticias ha sido muy criticada, debido a su toxicidad y al descubrimiento de que pueden resultar sustancias cancerígenas. Ambos compuestos químicos pueden, en efecto, ser perjudiciales para los seres humanos por las transformaciones que provocan en los glóbulos rojos de la sangre, disminuyendo su capacidad de transporte del oxígeno y provocando síndromes de asfixia. Aún más grave es el hecho de que estos dos compuestos pueden dar lugar a nitrosaminas, sustancias cancerígenas de alta peligrosidad.

A pesar de ello, numerosas industrias han continuado y continúan empleando el nitrato y el nitrito de sodio como agentes conservantes, ya que ambos impiden el crecimiento de una bacteria, la *Clostridium botulinum*, uno de los microorganismos más tóxicos que se conocen. Ambas sustancias químicas, además, ejercen un efecto "cosmético", manteniendo la coloración de las carnes que, en su ausencia, pierden su típica apariencia roja para tornarse grisácea oscura.

Todavía hoy en día se discute esta cuestión. La mayoría de los expertos se declara favorable al uso de estas sustancias como conservantes en las carnes de cerdo y bovinos que se conservan crudas (embutidos), por el temor a posibles envenenamientos por botulismo.

La química del nitrato de sodio Los compuestos que contienen nitrógeno, como el nitrato de sodio, son de inmensa utilidad, ya que el nitrógeno es uno de los elementos indispensables para el proceso vital. Todos los aminoácidos y las pro-

La enorme difusión de los nitritos como conservantes en la industria cárnica se debe, además de a su importante acción antimicrobiana, a un efecto "cosmético" que da aspecto de frescura a la carne. Abajo, esquema del mecanismo mediante el cual los nitritos producen este efecto. El color de la carne fresca se debe fundamentalmente a un constituyente de las fibras musculares: la mioglobina. En el animal vivo, su presencia proporciona un color rojo púrpura a las fibras musculares, pero tras la muerte se inicia una serie de reacciones que provoca su transformación en metamioglobina, sustancia de color marrón. En cambio, cuando existen nitritos, éstos oxidan rápidamente el hierro divalente contenido en la mioglobina a hierro trivalente (constituyente de la metamioglobina) y se →



teínas de las células animales y vegetales, así como su protoplasma, contienen nitrógeno, y esto a pesar de que, paradójicamente, los compuestos que contienen nitrógeno son escasos en la Naturaleza. Este hecho parece aún más extraño si se piensa que nuestra atmósfera contiene un 78% de nitrógeno; por tanto, lo natural sería pensar que los compuestos de este elemento fueran muy comunes y que los seres vivientes obtuvieran el nitrógeno necesario directamente de la atmósfera. Sin embargo, nada de esto es así: el nitrógeno no se combina fácilmente con ningún otro elemento, por lo que los minerales que contienen nitrógeno tampoco son comunes.

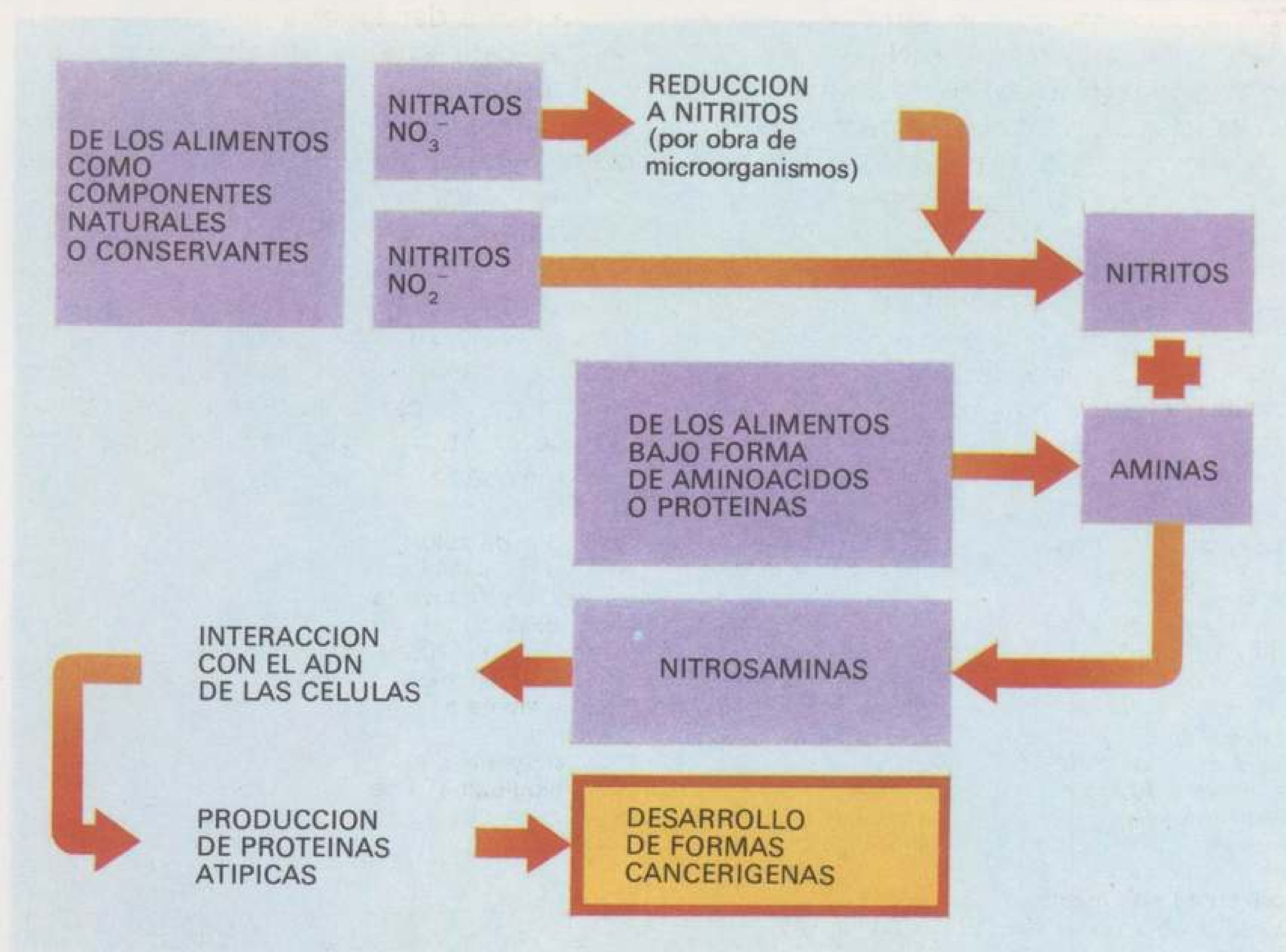
Uno de esos raros compuestos es el llamado "nitrato de Chile" que, como se deduce de su nombre, se encuentra principalmente en los desiertos chilenos. Durante casi un siglo, todo el nitrato de sodio empleado en el mundo provenía de tales yacimientos. Actualmente, sin embargo, están casi agotados. También el "guano" (constituido por los excrementos de aves marinas acumulados durante siglos sobre las costas del océano Pacífico en Sudamérica) contiene un alto porcentaje de nitrato de sodio y ha sido utilizado durante mucho tiempo como una preciosa fuente de esta sustancia; pero en la actualidad, también estos depósitos están agotados. Hoy, el nitrato de sodio se obtiene de compuestos sintetizados a partir del nitrógeno atmosférico.

La mayor parte del nitrato de sodio que se produce en el mundo se usa como fertilizante. Sin embargo, una gran cantidad de este producto se emplea también para producir nitrato de potasio. Este se utiliza como conservante de sustancias alimenticias, como fertilizante y, principalmente, para la fabricación de explosivos.

El nitrato de sodio es un compuesto insípido e inodoro. Es soluble en agua, en alcohol y en amoniaco. Funde a 307 °C y se descompone a 380 °C.

Nitrito de sodio El nitrito de sodio es mucho menos conocido y usado que el nitrato. Es una sustancia sólida blanca que se obtiene calentando un nitrato con carbono, plomo o hierro, o haciendo reaccionar una mezcla de óxidos de nitrógeno con carbonato de sodio. En este último caso, se obtiene un compuesto que no es perfectamente blanco, sino ligeramente amarillento. Como el nitrato, también el nitrito sódico se utiliza en la industria alimentaria como conservante.

Véase **Acidos y bases; Alimentos, aditivos y conservantes; Aminas y amidas; Fertilizantes; Nitrógeno; Sodio**



→ reducen a NO (óxido de nitrógeno). El óxido así liberado se une a las moléculas de mioglobina aún no oxidadas y a las de metamioglobina (en la cual el hierro pasa a ser divalente gracias a la acción reductora de los enzimas presentes en la carne); se forma así la nitrosomioglobina, que es un compuesto estable de color rojo. En la capa superficial de la carne se forma inicialmente, por oxigenación, otro compuesto: la oximioglobina, que también es oxidada por el nitrito a metamioglobina. Desafortunadamente, además de sus efectos conservantes y cosméticos, los nitritos y los nitratos presentan una preocupante capacidad para dañar la salud humana. En particular, ha sido demostrada su posible acción cancerígena (esquema superior). Nitratos y nitritos son absorbidos por el hombre principalmente a través de los alimentos, aunque se encuentran también en el agua contaminada por fertilizantes, en los gases de combustión de los automóviles y en el humo de los cigarrillos. En el cuerpo humano, algunas bacterias se encargan de reducir los nitratos a nitritos. Estos últimos pueden reaccionar con las aminas derivadas de las sustancias nitrogenadas contenidas en los alimentos, formando así las nitrosaminas. Estas sustancias interfieren en el metabolismo de las células, induciendo la formación de proteínas atípicas, que a su vez pueden dar inicio al desarrollo de varias formas cancerígenas. Los nitritos y los nitratos no se encuentran en los alimentos únicamente como conservantes artificiales añadidos, sino que en muchos casos forman parte de los vegetales utilizados por el hombre como alimentos. En la tabla inferior se indican los contenidos medios naturales de estas sales en algunos productos de origen vegetal. Es necesario tener en cuenta que estas cantidades, además de ser muy variables de forma natural, pueden aumentar debido a la excesiva utilización de abonos.

PRODUCTO	NITRATO	NITRITO	PRODUCTO	NITRATO	NITRITO
tomate	62	1,3	calabacín	413	0,7
espinaca	1.860	2,7	berenjena	302	0,5
brécol	783	1,0	guisante	28	0,7
remolacha	2.760	6,0	alubias	253	0,9
nabo	1.369	–	zanahoria	119	0,8
apio	2.340	0,5	hinojo	66	4,0
espárrago	21	0,9	fruta (valor medio)	10	–
rábano	1.509	–	patata	119	0,4
puerro	280	–	batata	53	–
lechuga	850	0,4	judías verdes	13	–
alcachofa	150	–	habas	233	–
col	635	0,5	guisantes	48	–
coliflor	547	1,1	pasta	15	0,2
cebolla	134	0,7	pan	22	0,2
pimiento	125	0,7	harina	45	2,0

Soja



Desde hace más de dos mil años, las semillas de soja han constituido un elemento básico en la dieta alimenticia de casi todos los pueblos del Oriente Asiático. El alto contenido en proteínas de esta planta y su gran poder alimenticio, muy similar al de la carne animal, han dado lugar a que, popularmente, se la denomine "carne del campo". En efecto, la soja no sólo contiene una media de proteínas superior en un 33% a la de cualquier otra especie vegetal, sino que además su cultivo permite una producción proteínica veinte veces superior a la producida por los terrenos destinados a pasto.

La planta de la soja Aunque es una planta originaria de Japón y de China, su cultivo se extiende actualmente a Corea del Sur, la Unión Soviética, Brasil, Canadá y Estados Unidos (también se están desarrollando cultivos experimentales en diversos países donde el clima resulta apropiado). La *Glycine max* (denominación científica de la soja) es una planta leguminosa cuyos frutos, en forma de vainas aplastadas terminadas en dos puntas, se desarrollan a partir de unas pequeñas flores blancas (o púrpuras) que aparecen entre las hojas. Estas últimas son similares a las de la judía, es decir, hojas grandes compuestas por tres hojuelas ovaladas, unidas por la base. La planta suele alcanzar una altura que varía entre 0,5 y 2 m, y puede crecer y desarrollarse en muy diversas condiciones, tanto de suelo como climáticas.

El cultivo de la soja presenta grandes ventajas, no sólo de tipo económico, sino también desde el punto de vista ecológico: es una planta fuerte y muy resistente a las enfermedades y a la acción de los insectos, requiere pocos cuidados y, prácticamente, no precisa el uso de pesticidas.

Además, su cultivo tampoco necesita fertilizantes, debido a que en sus raíces, al igual que en las del resto de las leguminosas, existen unas bacterias capaces de fijar el nitrógeno bajo forma de amonio, que ya es asimilable por la planta; estas bacterias no sólo proporcionan el nitrógeno necesario para el uso directo de la planta sino que además nitrogenan el terreno circundante, fertilizándolo y haciendo posible el desarrollo de otros cultivos. Este fenómeno era ya conocido por los pueblos indios de Norteamérica, que, sabedores del poder fertilizante de las leguminosas, solían alternar hileras de estas úl-

La soja (*Glycine max*) es una planta herbácea de la familia de las leguminosas. Tiene la forma de un arbusto y, de acuerdo con la variedad a la que pertenezca, su altura puede oscilar entre medio y dos metros. Las hojas y el tallo están recubiertos por una fina capa pilosa de color oscuro. Las hojas son grandes y compuestas por tres hojuelas ovaladas, unidas por la base. Sus flores suelen ser de color blanco, púrpura o rosa y de ellas surgen los frutos, unas vainas similares a las judías verdes, de cinco a siete centímetros de tamaño, y cada una con cuatro semillas en su interior. Todas las partes de la planta son, de una forma u otra, aprovechables por el hombre: las partes verdes, como los tallos, las hojas e incluso las vainas vacías, se emplean como forraje altamente nutritivo; las semillas se pueden consumir directamente, al igual que cualquier otra legumbre, aunque por lo general, la mayor parte de la producción suele destinarse a la elaboración industrial de aceite y de otros productos derivados, como la margarina y la lecitina.

En el esquema de la página siguiente pueden observarse los distintos procesos y etapas que constituyen la explotación industrial de las semillas de soja. Una vez finalizada la recolección, los frutos se secan y se almacenan; tras la separación de las vainas (que se utilizarán para la fabricación de forraje o fertilizantes naturales), las semillas se trituran. Mediante un tratamiento químico con disolventes se extrae un aceite basto y un residuo de pasta desgrasada. El aceite pasa entonces al proceso de refinado, durante el cual se separa la lecitina, una importante sustancia que se utiliza como aditivo industrial o como integrador dietético. Una vez refinado, parte del aceite se dedica al consumo y el resto se emplea en la obtención de productos secundarios, entre los que destaca la margarina. La pasta desgrasada, obtenida como residuo tras los tratamientos químicos, se puede emplear como pienso animal o, también, puede ser tratada y purificada para la obtención de harinas y concentrados de alto valor proteínico.

timas entre las plantas de otros cultivos necesitados de grandes cantidades de nitrógeno para su desarrollo, como es el caso del trigo.

A partir de 1940, comenzó a desarrollarse la práctica de abonar los terrenos con fertilizantes nitrogenados, como el nitrato de amonio. Sin embargo, en muchas ocasiones las plantas no llegan a utilizar todo el nitrógeno contenido en el fertilizante, por lo que aquél se convierte en un factor de contaminación al filtrarse a través del terreno y alcanzar los cursos de agua subterráneos.

Los nuevos agricultores "naturistas" rechazan la utilización de cualquier tipo de fertilizante artificial, haciendo exclusivamente uso de la soja y de otras legumbres (judías, algarrobas) para fertilizar el terreno. Preparan una especie de abono natural a partir de residuos vegetales orgánicos ricos en nitrógeno, y lo entierran en la época de labranza, tras la cosecha otoñal.

Valores nutritivos de la soja y sus derivados Aproximadamente 250 cc de soja cocida —equivalentes a unos 125 cc de soja seca— proporcionan más proteínas que 140 g de carne. La soja no contiene colesterol ni grasas saturadas, principales causas de las enfermedades cardíacas, la arteriosclerosis, la hipertensión y la obesidad. Además, la soja contiene los ocho aminoácidos esenciales y la vitamina B_{12}, que hasta hace poco tiempo se consideraba, exclusivamente, de origen animal. También están presentes en su composición la vitamina A, el hierro y el calcio.

La explotación industrial de la soja está dirigida fundamentalmente hacia la extracción de aceite, que se comercializa directamente o se transforma, mediante procesos de hidrogenación, en margarinas y otros productos grasos.

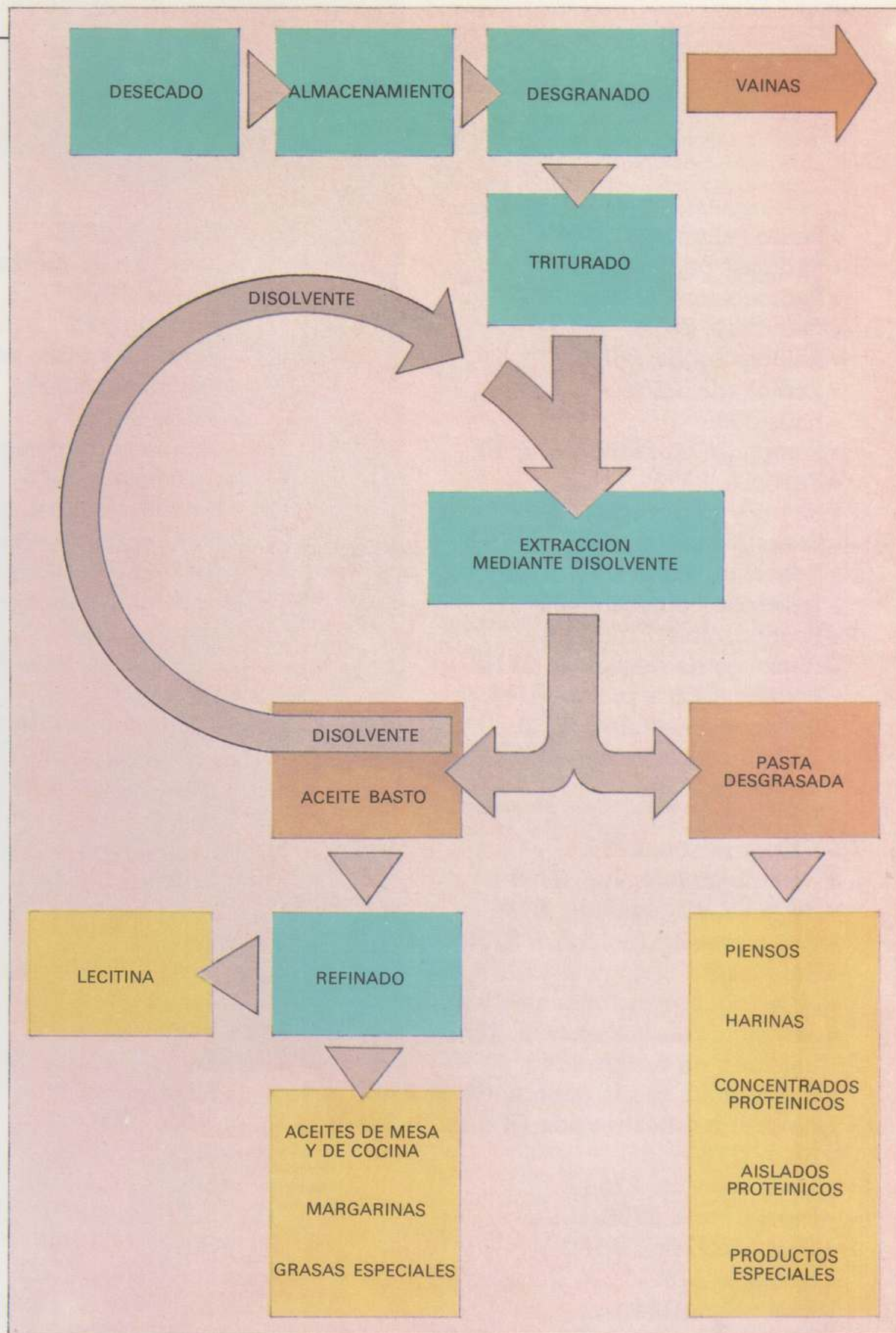
Como subproductos de la refinación del aceite se obtienen harinas, concentrados proteínicos y lecitinas, sustancias estas últimas muy complejas (formadas por aceites, fosfatos, proteínas e hidratos de carbono) que suelen utilizarse como aditivos.

Una gran parte de los platos que constituyen la variada cocina oriental se basan en la soja: el *tofu*, por ejemplo, es una especie de pasta base que puede ser cocida al vapor o frita, y acompañarse con vegetales, carne, nueces, pescado y diversos ingredientes; mezclada con huevo, se utiliza para la elaboración de dulces o como sustituto de cremas o de quesos. El *tempeh* es una torta hecha a base de soja, de consistencia parecida a la de la carne de pollo asada; se sirve en los restaurantes vegetarianos como un producto equivalente a la hamburguesa occidental, aunque su contenido proteínico es el doble que el de esta última, y constituye la mejor fuente vegetal de vitamina B_{12}.

La soja es el principal componente de la cocina vegetariana. Los "brotes", la "sémola", la "harina" y la "leche" de soja son importantes derivados de esta planta. El *mijo*, una mezcla de cereales (por lo general, arroz y cebada), soja, sal y agua fermentada (el agente responsable de la fermentación es el *Aspergillus oryzae*), constituye uno de los principales platos de la cocina japonesa. Posee un elevado contenido de proteínas, vitamina B_{12} y otras sustancias nutritivas fundamentales, contiene muy poco cloruro de sodio y colesterol y tiene pocas calorías. El mijo, al igual que sucede con los quesos y los vinos, presenta una gran variedad de colores, consistencias, aromas y sabores.

El FAD ha llegado a la conclusión de que una cuarta parte de la población mundial pasa hambre, al menos durante algunas épocas del año. Según las cifras proporcionadas por algunos estudios estadísticos, la malnutrición crónica, en la que es fundamental la falta de proteínas, afecta a más de cuatrocientos millones de niños en el mundo.

Un antiguo proverbio chino dice: "Una época de crisis es también una época de oportunidades". Actualmente, la soja ofrece a la Humanidad la oportunidad de aliviar el hambre, o al menos, de paliar la acuciante necesidad de proteínas.



Véase **Agricultura; Alimentación y nutrición; Fertilizantes; Lípidos; Nitrógeno; Proteínas**

Indice
Volumen XII

